

INSTITUT DE RECHERCHES POUR LES HUILES ET OLÉAGINEUX

PLANT ANALYSIS
AND FERTILIZER PROBLEMS

PFLANZENANALYSE UND PROBLEME
DER MINERALISCHEN DUNGEMITTEL

ANALYSE DES PLANTES
ET PROBLÈMES DES FUMURES MINÉRALES

Colloque organisé par l'I. R. H. O., sous la présidence de

T. WALLACE

Professeur à l'Université de Bristol
dans le cadre du VI^e Congrès International de la Science du Sol
Paris, 1956

I. R. H. O.

11, Square Pétrarque — PARIS (16^e)

181604

5815
219

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
Liste des participants au colloque	3
Préface (français, anglais, allemand)	5
L. MAUME. — Ouverture du colloque	9

I. — QUESTIONS GÉNÉRALES

T. WALLACE (U. K.). — Methods of Diagnosing the Mineral Status of Plants	13
J. C. CAIN (U. S. A.). — Some Problems of Foliar Diagnosis for Orchard Fertilizer Recommendations	23
M. V. HOMÈS et G. H. J. VAN SCHOOR (Belgique). — Composition minérale du tabac en fonction du milieu nutritif	32
G. H. J. VAN SCHOOR (Belgique). — Composition minérale du cotonnier en fonction du milieu nutritif	54
M. J. CHKOLNIK, M. M. STEKLOVA, N. A. MAKAROVA, N. V. KOVALIEVA, et V. N. GRETCHISTCHEVA. — Rôle physiologique du bore chez les plantes	69
P. GOUNY (France). — Observations sur les relations entre la composition minérale de la plante et le rendement	87
E. J. HEWITT (U. K.). — Some Aspects of the Relationships of nutrient Supply to nutrient Uptake and Growth of Plants as revealed from Nutrient Culture Experiments	104
D. J. D. NICHOLAS (U. K.). — An Appraisal of the Use of Chemical Tissue Tests for Determining the Mineral Status of Crop Plants	119
V. TSERLING (U. R. S. S.). — Le diagnostic du besoin des plantes en engrais	140
L. LEYTON (U. K.). — Needle Composition in Relation to the Growth and Nutrition of Japanese Larch	143
C. O. TAMM (Suède). — The Effects of Nitrogen Fertilization on Tree Growth and Foliage Composition in a Forest Stand	150
J. A. COOK et T. KISHABA (U. S. A.). — Using Leaf Symptoms and Foliar Analyses to diagnose Fertilizer Needs in California Vineyards	158
P. PREVOT et M. OLLAGNIER (France). — Méthode d'utilisation du diagnostic foliaire	177

II. — OLIGO-ÉLÉMENTS

P. A. WLASSJUK (U. R. S. S.). — Verbesserung der Pflanzennährungsbedingungen durch Mangandüngemittel	195
E. BEYERS (Union South Africa). — Occurrence and Correction of Micro-Element and Magnesium Deficiencies in Deciduous Orchards and Vineyards in the Union of South Africa	201

TABLE DES MATIÈRES

J. MAISTRE (France). — Contribution à l'étude de la nutrition minérale de l'arachide. La carence borique et ses effets	215
N. WELLS (Nouvelle-Zélande). — Lime-Superphosphate Fertilizer Top-dressing of Soils Derived from Basalt and Andesite and its Effect on Element Levels of a Grass.....	224
R. GASSER et J. MÜLLER (Suisse). — Behandlung von Pflanzen zur Bekämpfung der Eisenchlorose.....	231

III. — ANALYSE DU SOL ET DE LA PLANTE

R. L. MITCHELL, J. W. S. REITH et I. M. JOHNSTON (U. K.). — Soil Copper Status and Plant Uptake.....	249
M. OLLAGNIER et P. PREVOT (France). — Comparaison du diagnostic foliaire et de l'analyse des sols pour la détermination des besoins en engrains	262
H. R. OPPENHEIMER (Israël). — The Influence of the Soil on the Development and the mineral Composition of the Aleppo Pine	272
W. S. ILJIN (Venezuela). — Tropical Soils and the Chemical Composition of Plants.....	281

IV. — CULTURES PÉRENNESES

C. BOULD (U. K.). — Recent Work on Foliar Diagnosis in relation to the Nutrition of some Deciduous Trees and Soft Fruit Crops.....	299
A. BOUAT (France). — La fumure de l'olivier : la solution apportée par le diagnostic foliaire	311
J. C. PRALORAN et F. MINOT (Maroc). — L'alimentation minérale des orangers d'après l'analyse des feuilles.....	322
J. LIWERANT (France). — Influence du mode d'application des engrais sur leur efficacité en culture fruitière.....	338
G. REINKEN (Allemagne). — Über das Aneignungsvermögen von Apfelbäumen für schwerlösliche Phosphate	351
E. R. BEAUFILS (France). — Recherche d'une exploitation rationnelle de l'hévéa d'après un diagnostic physiologique reposant sur l'analyse minérale de diverses parties de la plante.....	360
H. BROESHART (Congo Belge). — Some Aspects of Mineral Deficiencies and the Chemical Composition of Oil Palms.....	377
J. F. Lévy (France). — Résultats obtenus grâce au diagnostic foliaire de la vigne.....	384

V. — CULTURES ANNUELLES

J. BELEY (France). — Mode de prélèvement des échantillons de feuilles de riz en vue du diagnostic foliaire.....	397
J. DULAC (France). — La relation « azote-rendement » chez les céréales ..	400

LISTE DES PARTICIPANTS AU COLLOQUE

(par ordre alphabétique)

MM.

ALLOUC (France).
ANDENSON B. (Tanganyika).
ANID J. (Yougoslavie).
ANNE (France).
ARLAND (Allemagne occidentale).
ASLANOR A. (Suède).

BAUSCH J. (Pays-Bas).
BEAUCORPS (de) G. (Maroc).
BEAUFILS E. R. (France).
BELEY J. (France).
BELTIN E. (Kénya).
BEYERS E. (Union Sud-Africaine).
BILDERLING (N. de) (France).
BLANC (France).
BLANCHET (France).
BLANK (S. de) (Angleterre).
BOUAT A. (France).
BOULD C. (Royaume-Uni).
BOUYER S. (France).
BOUCHOU J. G. (France).
BROESHART H. (Congo Belge).
BOQUET (France).
BURNOTTE (Belgique).

CAIN John C. (U. S. A.).
CAMUS G. (France).
CARDUS José (Espagne).
CARRIÈRE de BELGARRIC (France).
CHABANNES J. (France).
CHEVALIER (France).
CLARK R. E. (U. S. A.).
COMMUN R. (France).
COOK J. A. (U. S. A.).
COPPENET (France).
CORCELLE (France).
COTTENIE A. (Belgique).

MM.

DAVEY B. G. (Ecosse).
DAVIES W. M. (Angleterre).
DECHERING I. (Pays-Bas).
DEPARDON (France).
DULAC J. (France).
DULK (P. R. den) (Pays-Bas).
DUMAS (France).
DUPUIS M. (France).

ENDREDY A. S. (de) (Côte de l'Or).

FENSEN V. (Danemark).
FERRAND M. (France).
FERWERDA J. O. (Congo Belge).
FIELDER M. (Nouvelle-Zélande).
FRANC de FERRIÈRE M. (France).

GACHON (France).
GARAUDEAUX J. (France).
GASSER R. (Suisse).
GENEVOIS (France).
GJEMS O. (Norvège).
GOUNY P. (France).

HALAIS P. (Île Maurice).
HAMILTON (Côte de l'Or).
HAWORTH (Angleterre).
HEINTZE J. C. I. (Angleterre).
HERNANDO (Espagne).
HEWITT E. J. (Angleterre).
HOED F. (Belgique).
HOMÈS M. V. (Belgique).
HUTTON R. S. (Côte de l'Or).

IGNATIEFF V. (Italie).
IRVING H. (Nigéria).

JURION F. (Belgique).

LISTE DES PARTICIPANTS

MM.

LEBLANC W. (Congo Belge).

LEFÈVRE G. (France).

LÉVÈQUE (France).

LÉVY J. F. (France).

LEYTON L. (Angleterre).

LIWERANT J. (France).

LONGAIN J. (France).

LYDERSEN D. (Norvège).

Mc. CONAGHY S. (Irlande).

MADGWICK H. (Angleterre).

MAISTRE J. (France).

MALICORNET (France).

MALTERRE (France).

MAROCHE (France).

MAUME (France).

MEISTED S. W. (U. S. A.).

MICHAUX P. (France).

MIRAVILLES L. (Espagne).

MITCHELL R. L. (Ecosse).

MOLLE A. (Congo Belge).

MORLEY DAVIES W. (Angleterre).

MULLER A. (Pays-Bas).

OLLAGNIER M. (France).

OPPENHEIMER H. R. (Israël).

ORCHARD E. R. (Union Sud-Africaine).

PATTERSON J. B. E. (Angleterre).

PÉLEGRIIN P. (France).

PEYRE de MONTBRETON C. (France).

PRALORAN J. C. (Maroc).

PREVOT P. (France).

QUILLON P. J. (France).

RADET (France).

RAMEAU J. (Pays-Bas).

REDLICH (France).

REINKEN G. (Allemagne occidentale).

RICHARD H. (France).

RICHARDSON H. L. (Angleterre).

MM.

RIVOIRE (France).

ROCHAIX (Suisse).

ROCHE P. (Madagascar).

SCHEIDECKER D. (France).

SCHONNAMSGRUBER H. (Allemagne occidentale).

SCHRODER D. (Allemagne occidentale).

SIMÉON S. (France).

SMITH A. M. (Ecosse).

SOKOLOW (U. R. S. S.).

STAEL J. (Suisse).

STATION D'AGRONOMIE de Montfavet (France).

STEENBJERG (Danemark).

STRIMECKI E. (Yougoslavie).

STRUYS L. C. (Pays-Bas).

SURRE Ch. (France).

TAMM C. O. (Suède).

THEILLER (France).

TROCMÉ (France).

TSERLING V. (U. R. S. S.).

UEXKULL H. V. (Allemagne occident.).

ULRICH (France).

VAN BUREN (Pays-Bas).

VAN DEN EUDE J. (Pays-Bas).

VAN DER PAAUW F. (Pays-Bas).

VAN SCHOOR G. H. J. (Belgique).

VERETENICOFF S. (France).

VOGEL Ch. (France).

WAEGEMANS G. (Belgique).

WALSH T. (Irlande).

WALTON G. (Nouvelle-Zélande).

WELSCH (Irlande).

WILL G. M. (Ecosse).

WORMER Th. M. (France).

ZILLER R. (France).

ZWICKER (Allemagne occidentale).

PRÉFACE

En 1954, à l'occasion du VIII^e Congrès International de Botanique, l'Institut de Recherches pour les Huiles et Oléagineux (I. R. H. O.) a organisé un Premier Colloque sur le sujet : « Analyse des Plantes et Problème des Fumures Minérales ».

Le volume publié à la suite de ce Colloque fut rapidement épuisé et l'I. R. H. O. a provoqué un Deuxième Colloque en 1956, à l'occasion du VI^e Congrès International de la Science du Sol.

Ce Colloque s'est tenu à Paris les 3, 4, 5, 6 septembre 1956.

Huit Séances ont réuni une centaine de participants, sous les Présidences successives de :

- MM. P. PREVOT (France).
- L. MAUME (France).
- M. HOMES (Belgique).
- R. L. MITCHELL (U. K.).
- J. A. COOK (U. S. A.).
- G. REINKEN (Allemagne).
- H. R. OPPENHEIMER (Israël).
- R. GASSER (Suisse).

Les exposés des chercheurs, venus de 14 pays, ont donné lieu à des discussions très animées que, par manque de place, nous ne pouvons malheureusement reproduire *in extenso*. Les méthodes d'interprétation des résultats du diagnostic foliaire ont constitué l'objet principal de ces discussions et l'on peut en conclure que l'efficacité du diagnostic foliaire dépend de l'adaptation de ces méthodes interprétatives aux divers problèmes étudiés. Il est certain aussi que des recherches fondamentales sur la nutrition minérale sont nécessaires pour l'utilisation encore plus efficace du diagnostic foliaire. Les résultats présentés démontrent une fois de plus l'intérêt pratique considérable de cette méthode.

A la suite de ce Deuxième Colloque, un Comité a été chargé de l'Organisation de nouveaux Colloques et notamment à l'occasion du IX^e Congrès International de Botanique en 1959, au Canada.

Ce Comité est composé de :

Présidents d'Honneur : H. LUNDEGARDH (Suède).
L. MAUME (France).

Président : T. WALLACE (U. K.).

Vice-Président : W. REUTHER (U. S. A.).

Secrétaire : P. PREVOT (France).

Membres : C. BOULD (U. K.).

J. A. COOK (U. S. A.).

R. L. MITCHELL (U. K.).

H. R. OPPENHEIMER (Israël).

M. OLLAGNIER (France).

Toute suggestion concernant l'organisation de ces nouveaux colloques sera la bienvenue et pourra être adressée au Secrétaire.

Dr P. PREVOT,

Institut de Recherches
pour les Huiles et Oléagineux,
13, square Pétrarque, Paris (16^e).

PREFACE

In 1954, on the occasion of the VIII International Botanical Congress, the Institut de Recherches pour les Huiles et Oléagineux (I. R. H. O.) organized the First Colloquium on "Plant Analysis and the Problem of Mineral Fertilizers".

The book published after the Colloquium was rapidly exhausted, and the I. R. H. O. made arrangements for a Second Colloquium held in 1956 on the occasion of the VI International Congress for Soil Science.

This Colloquium took place in Paris on September 3.4.5 and 6., 1956.

The eight meetings of the Colloquium were attended by about one hundred participants under the leadership successively of :

MM. P. PREVOT (France).

L. MAUME (France).

M. HOMES (Belgium).

R. L. MITCHELL (U. K.).

J. A. COOK (U. S. A.).

G. REINKEN (Germany).

H. R. OPPENHEIMER (Israël).

R. GASSER (Switzerland).

The reports of the research workers from 14 countries called forth very lively discussions. But, for lack of place, we cannot unfortunately reproduce them in full. The methods of interpretation of the results of foliar analysis were the main point of the discussions, and this leads to the conclusion that the efficiency of foliar diagnosis depends on the adaptation of these methods to the various problems studied.

It is also doubtless that further basic research on mineral nutrition is necessary in order to promote the application of foliar diagnosis.

The results already achieved once more emphasize the great practical importance of this method.

After this 2nd Colloquium, an Organizing Committee was invited to proceed to the organization of a new Colloquium and namely on the occasion of the IX International Botanical Congress to be held in Canada in 1959.

The members of this Organizing Committee are :

Honorary Presidents	H. LUNDEGARDH (Sweden).
	M. MAUME (France).
President	T. WALLACE (U. K.).
Vice-President.....	W. REUTHER (U. S. A.).
Secretary	P. PREVOT (France).
Members	C. BOULD (U. K.).
	J. A. COOK (U. S. A.).
	R. L. MITCHELL (U. K.).
	H. R. OPPENHEIMER (Israël).
	M. OLLAGNIER (France).

Any suggestion with reference to the organization of these further meetings is welcome and is to be forwarded to the Secretary.

Dr P. PREVOT.

VORWORT

Im Jahre 1954 organisierte das Institut de Recherches pour les Huiles et Oléagineux (I. R. H. O.), gelegentlich des VIII. Internationalen Kongresses für Botanik, das Erste Kolloquium über "Pflanzenanalyse und das Problem der mineralischen Düngemittel".

Das Buch welches das erste Kolloquium resumierte war sehr schnell ausverkauft und das Institut I. R. H. O. berief ein Zweites Kolloquium im Jahre 1956, gelegentlich des VI. Internationalen Kongresses für Bodenkunde zusammen. In den Tagen des 3.4.5 und 6. September 1956 fand in Paris dieses 2te Kolloquium statt.

Acht Sitzungen, die über hundert Teilnehmer vereinten, wurden unter der Leitung folgender Präsidenten durchgeführt :

- Herren P. PREVOT (Frankreich).
- L. MAUME (Frankreich).
- M. HOMES (Belgien).
- R. L. MITCHELL (U. K.).
- J. A. COOK (U. S. A.).
- G. REINKEN (Deutschland).
- H. R. OPPENHEIMER (Israël).
- R. GASSE (Schweiz).

Die Vorträge der aus 14 Ländern stammenden Forscher gaben zu sehr lebhaften Aussprachen Anlass, welche wir leider wegen Platzmangel nicht in extenso wiedergeben können. Im Mittelpunkt dieser Aussprachen stand die Deutung der Ergebnisse der Blattanalyse. Man darf daraus den Schluss ziehen, dass die Wirksamkeit der Blattanalyse von der Anpassung der Untersuchungen nach dieser Methode an die verschiedenen Probleme abhängt. Ebenso, ist es ohne Zweifel, dass noch grundsätzliche Forschungen über die mineralische Ernährung der Pflanzen notwendig sind um zu einer noch wirksameren Anwendung der Blattanalyse zu gelangen. Die vorgebrachten Ergebnisse der Untersuchungen bewiesen von neuem das bedeutende praktische Interesse dieser Methode.

Nach diesem zweiten Kolloquium wurde ein Arbeitsausschuss gebildet, der dazu dienen soll neue Zusammekünften vorzubereiten, insbesondere ein Kolloquium gelegentlich des IX. Internationalen Kongresses für Botanik, der für das Jahr 1959 in Kanada vorgesehen ist.

Dieser Ausschuss wird von folgenden Herren gebildet :

Ehrenpräsidenten	H. LUNDEGARDH (Schweden).
	L. MAUME (Frankreich).
Präsident	T. WALLACE (U. K.).
Vizepräsident	W. REUTHER (U. S. A.).
Sekretär	P. PREVOT (Frankreich).
Mitglieder	C. BOULD (U. K.).
	J. A. COOK (U. S. A.).
	R. L. MITCHELL (U. K.).
	H. R. OPPENHEIMER (Israël).
	M. OLLAGNIER (Frankreich).

Anregungen und Vorschläge für die Organisierung dieser künftigen Kolloquien sind willkommen und können an den Sekretär des Arbeitsausschusses gerichtet werden.

Dr P. PREVOT.

Ouverture du Colloque

par L. MAUME

Université de Montpellier, France

L'homme des champs, qui renouvelle chaque année à travers divers obstacles ses rudes travaux, a une tendance naturelle à rapporter les pratiques culturales à des nécessités impératives qui les lui commandent, comme elles les ont commandées à ses ancêtres. Les raisons qu'il se donne d'agir plutôt de telle manière et plutôt à telle époque lui ont été transmises par ses ascendants et lui-même les enseigne à ses enfants. Cette magie superstitieuse de la routine (qui a parfois son bon côté) ne cède que très difficilement aux données de la science expérimentale : songez qu'elle se perpétue souvent, dans le domaine de la fertilisation, par l'action des propagandes commerciales les plus étrangement audacieuses qu'attirent la masse énorme des achats agricoles et la crédulité qui est exploitée sans être toujours efficacement défendue.

En agriculture, on n'a pas encore résolu de façon définitive le problème de savoir quels engrains sont appropriés à telle culture dans tel milieu cultivé. Il y a toutefois une *méthode* pour le résoudre dans chaque cas particulier, une méthode fondée sur le simple bon sens, une méthode applicable aussi bien aux cultures arbustives qu'aux cultures herbacées, et qui n'utilise pour une part prépondérante que les preuves tirées de la plante observée dans son milieu naturel.

On sait que ce milieu est changeant au cours d'une même année et plus encore d'une année à l'autre. Il n'est donc pas suffisant de chercher dans un échantillon du sol, porté au laboratoire et fixe dans ses données, le représentant des probabilités alimentaires d'espèces végétales très diverses ayant chacune ses exigences nutritives distinctes des autres au cours des vicissitudes que comportent le climat, la topographie, les soins culturaux, etc. C'est pour gravir cette montagne d'incertitudes que le diagnostic foliaire offre un raccourci. Déterminer ce diagnostic dans les parcelles qui donnent les meilleurs résultats, c'est déterminer le mode optimum d'alimentation. Cet optimum étant connu avec une approximation suffisante, tant pour l'alimentation globale que pour les rapports physiologiques des éléments principaux contenus dans la feuille, toute culture soumise à l'étude présentera un diagnostic foliaire plus ou moins éloigné du D. F. type. Par suite, on sera amené à employer une fumure susceptible de corriger dans le sens indiqué l'alimentation défectueuse.

Bien que rapide, cette méthode demande au moins un an d'observation. Si on rencontre une année d'inefficacité des engrains pour des raisons climatologiques, il faudra recommencer. Pour la vigne, nous n'intervenons pour conseiller la fumure la plus rentable qu'après trois années d'observation.

Tel est le chemin que nous proposons pour la recherche, en chaque culture, de la formule d'engrais appropriée. Si on nous objecte que l'agriculteur préférerait l'indication dogmatique d'une formule établie sur des bases plus simples, nous ferons observer qu'on donne chaque jour à cette question des réponses péremptoires sans expérimentation et contrôle chimique suffisants, que l'on s'appuie très souvent sur des analogies à contre-sens, sur des principes non démontrés qui, quoique classiques, n'ont aucun lien avec la vie végétale.

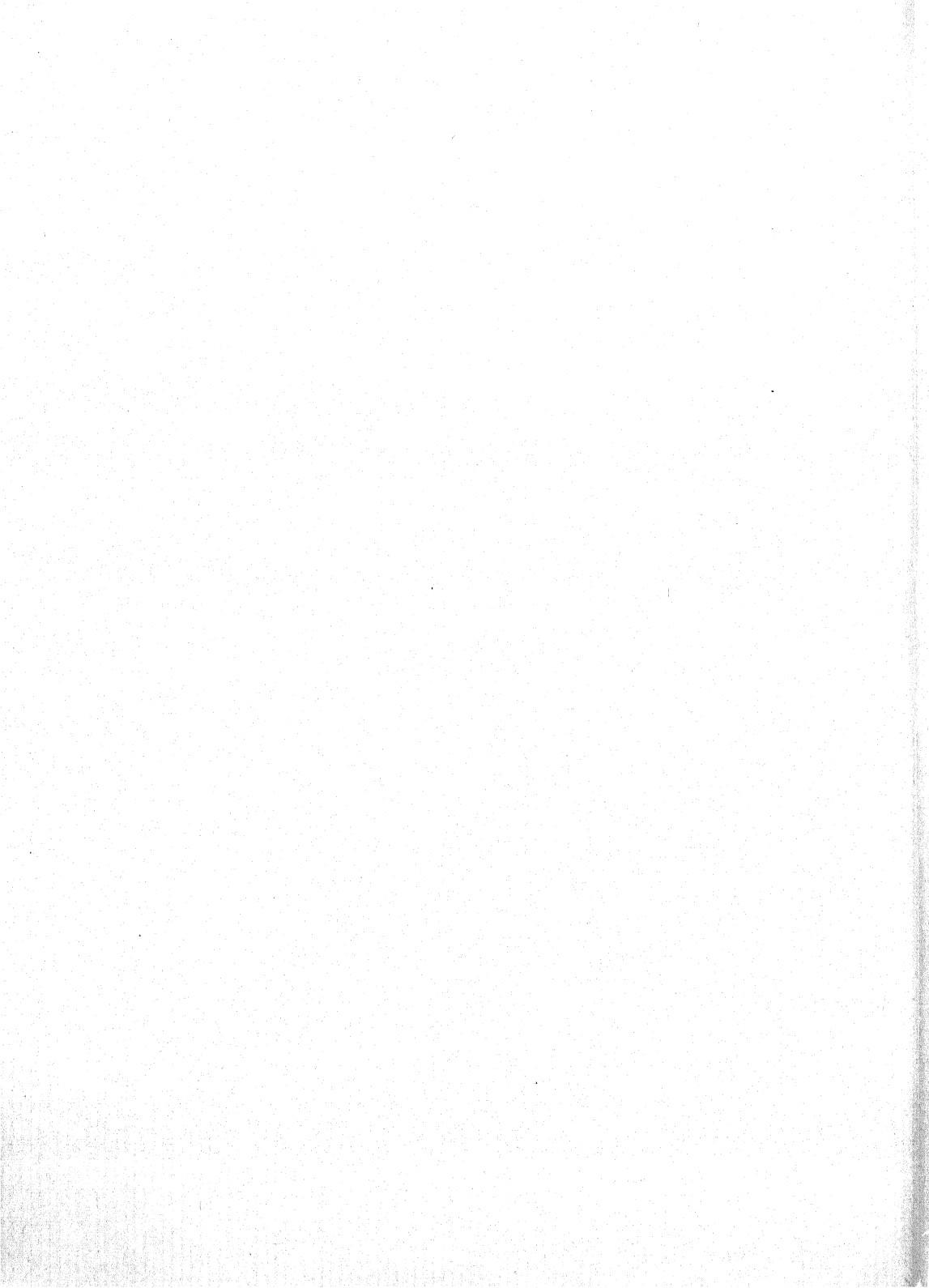
Pour nous, la connaissance du milieu nutritif n'existe que chez la plante elle-même. C'est donc dans la plante que l'analyse chimique la doit chercher.

Nous ne pouvons donc que nous féliciter du choix si judicieux du titre de ce colloque : Analyse des Plantes et Problème des Fumures Minérales.

L. MAUME.

PREMIÈRE PARTIE

QUESTIONS GÉNÉRALES



Methods of diagnosing the mineral status of plants

by T. WALLACE

University of Bristol, Long Ashton Research Station, England

Whilst the primary object of this symposium is to discuss the method of plant analysis as a means of diagnosing the mineral nutritional status of crop plants and to relate the results to the practical problems of determining the fertilizer needs of the crops, it is important that we should consider the method along with other methods that have been suggested and are used with the same object in view.

All who have used the plant analysis method know that besides its uses it has its difficulties and its limitations, as have all other methods that have been proposed, and it is thus valuable to see whether the method can be fitted into a wider scheme of methods to overcome its limitations and to increase its usefulness.

It is with such ideas in mind that I have been invited and undertaken in this introduction to the symposium to outline some of the more important diagnostic methods used in the investigation of crop nutritional problems at the present time.

At the outset I should like to say that from my experience of field problems, I consider that no one method alone will solve all the problems of crop nutrition presented in the field, though by a combination of available methods I believe that the solution of most problems can be achieved and substantial improvements effected both in the yield and quality of a wide range of crops.

BASIC FACTORS IN CROP NUTRITION PROBLEMS

The objects of applying diagnostic methods to problems of crop production are to obtain data that will enable the farmer to control both the yields and quality of his crops. Maximum yields are generally the most important aim, but quality can also be of great importance in specialised crops, such as fruits, vegetables and tobacco, and in fodder crops in which the minerals may be decisive factors in the healthy development of the farm stock.

In selecting diagnostic methods to assess the nutrient status of crops and to determine fertilizer needs to produce maximum yields and high qua-

lity crops, the following points must be borne in mind as being basic to the problems involved.

(1) Thirteen elements so far have been proved to be essential to the nutrition of higher plants and all are of importance in practical problems of crop production. These elements are nitrogen, phosphorus, calcium, magnesium, potassium and sulphur (major elements) and iron, manganese, boron, copper, zinc, molybdenum and chlorine (trace elements).

(2) A number of other elements, such as sodium, aluminium and silicon, may produce large beneficial effects in the yields and quality of certain crops, though they have not been proved to be essential to plants for the completion of their growth cycles (beneficial elements).

(3) Many other elements occur in plants, and these may be harmful both to yields and quality, and may indeed render the crops unsuitable for consumption both by man and by farm animals (other elements).

(4) The mineral elements concerned in plant nutrition may interact with one another both in the soil, affecting absorption, or in the plant tissues, affecting translocation and metabolic processes. The interactions may be evidenced as antagonisms or synergisms, and all elements in groups (1) (2) and (3) may be concerned.

(5) The ultimate nutrition of the crop, determining both yield and quality, will depend on the levels and interactions of these elements in the plant tissues.

(6) Although nitrogen, phosphorus and potassium are usually the most important elements concerned in practical field problems of crop nutrition, others are often of major importance for particular crops, and crops under intensive methods of culture, and for many crops growing on soils which possess special dominant characters.

Diagnostic methods should take account of these basic factors and, in particular, should be capable of providing data on all the elements that may be concerned in nutritional problems. Moreover, it is common experience that the majority of nutritional problems are concerned with deficiencies and excesses of the mineral nutrients, and these may be simple or multiple in character.

The effects may simply result in sub optimal yields — as is generally the case — but when the deficiencies or excesses are severe, pathological conditions may develop as the result of improper functioning of the metabolic processes, and the so-called functional or physiological diseases or mineral disorders occur.

THE MAIN DIAGNOSTIC METHODS

Diagnostic methods in use comprise both qualitative and quantitative methods. They may be classified as follows :

(a) METHODS USING PLANTS

1. The visual method.
2. The application of nutrients to leaf surfaces-spraying and planting techniques.
3. Nutrient injection methods, using solutions and solid salts-leaf, stem and trunk injections.
4. Foliar diagnosis, comparing the nutrient status of comparable leaves of high and low yielding plants.
5. Leaf analysis method of Lundegardh-correlating nutrient status of leaves with crop yields.
6. Quick chemical tissue tests.
7. Methods using plants as nutrient extractants from soils.
[These may also be considered as soil methods under (b)].
 - (i) Method of Mitscherlich ;
 - (ii) Method of Neubauer.

(b) SOIL ANALYSIS METHODS

8. Determination of «available» nutrients by extractant solutions—by weak solutions of acids, neutral salts, etc.
9. Determination of exchangeable cations.
10. Soil tests correlating chemical data with crop response to fertilizer dressings.
11. Rapid soil tests.
12. Methods using micro-organisms as extractants.

(c) FIELD EXPERIMENTS WITH FERTILIZERS

13. Experiments to measure crop responses to fertilizer dressings, using special designs for plot arrangements and methods of applying nutrients.

It is not proposed to discuss these methods in detail, but merely to discuss basic points underlying their use and to indicate special points of value and their limitations. The references given refer to major papers relating to the methods.

(a) *Methods using plants.*(i) *The visual method (1. 2).*

This is essentially a qualitative method for making a preliminary diagnosis. The basis of the method is the fact that plants suffering from severe deficiencies and excesses of mineral nutrients usually develop well-defined and characteristic signs of the disorders in various organs, particularly in the leaves, but often also in other parts.

In difficult cases use is made of special indicator plants and of fertilizer treatments. The method can be used to detect both deficiency and excess effects for all the essential nutrients. It has the advantages of being rapid and requiring no special equipment, and is particularly useful for rapid and extensive survey work.

Before the method can be used, signs of the disorders must be present in the plants, and considerable experience is needed to distinguish and interpret symptoms in the presence of masking influences.

The method should generally be used in conjunction with other methods such as foliage spraying and injection and chemical tests on plant tissues.

(2) *Foliage spraying and painting methods (1).*

This is another rapid qualitative method for preliminary diagnosis, and is often used to confirm visual observations. The efficiency of the method depends on the fact that mineral nutrients are readily absorbed into actively growing leaves when solutions of appropriate strength are applied. Response to the sprays is usually rapid and spectacular. The method cannot be used to detect excesses.

The only precautions necessary in using the methods is to ensure that the strengths of the solutions are suitable to secure a response but are not damaging, and that the treatments are applied to relatively young leaves.

(3) *Leaf, stem and trunk injections (1, 3, 4).*

These methods are similar in many respects to foliage sprays, to which they can be regarded as alternatives for use when more convenient.

To carry out the treatments, either solutions or solid salts (either as powders or in tablet form) are injected into the vascular systems, where they are eventually absorbed and translocated. Suitable dosages and timing of operations must be determined by experience so as to ensure responses and to avoid damage. The method is especially valuable for trace elements. Its use is limited to deficiencies.

(4) *Foliar diagnosis (5, 6, 7).*

The concept of foliar diagnosis, introduced by Lagatu and Maume in 1924, provides a leaf analysis method of comparing the nutrient status of crops; it has been applied to a wide variety of plant nutrition problems.

The method has been the subject of intensive study in U. S. A. by W. Thomas and his colleagues, and by Craig and Halais in Mauritius who have used it successfully as a basis for the determination of the manurial needs for N, P and K of the sugar cane crop.

Thomas and Mack throughout their studies stress the comparative nature of the method and state: "No physiological significance is to be attributed to the foliar diagnosis of any one fertilizer treatment considered alone"; and "the method has significance only in the comparative sense and is usable only with a key of interpretation".

It should be noted, however, that Craig and Halais, dealing with the sugar cane crop, have been able to relate their leaf data to crop yields.

To carry out the methods, comparable leaf samples are taken from high and low yielding plants, growing on adjacent plots, on three or more occasions during the growth season, for the necessary chemical determinations — usually for N, P and K — and from the data the levels and seasonal trends can be determined for the two sets of plants.

From the data, both the "quantity" or "intensity" of the nutrition (e. g. N + P + K as concentrations in the leaf) and the percentages of each in these totals, giving the "quality" of nutrition (e. g. ratios N : P : K). The "quantity" data are plotted on graphs against sampling dates to show seasonal trends, and the "quality" data on a triangular diagram by a system of trilinear co-ordinates.

A feature of this method is that it obviates differences such as seasonal and climatic differences that may invalidate comparative data obtained by less specific methods. A weakness would seem to be that the method serves to explain events that have happened, and does not provide information that can be used on the crop examined, though the data may be valuable as a basis for the treatment of future crops.

(5) Leaf analysis method of Lundegardh (8,9).

This method was developed following prolonged physiological investigations, supplemented by field trials, on the absorption of ions by roots, their interactions and movements in the soil and in the plant, their accumulation in plant tissues, and the relation between ion concentrations in plant organs and growth. Some of the physiological points were discussed by our President in his paper read at the first symposium (10).

Basic conclusions in relation to the method are : "For the rate of growth and for the final size and number of vegetative organs, the internal nutrient concentration in the leaves is determinative ; in particular, there is an obvious relationship between the internal nutrient concentration in the leaves and the growth of stems and leaves". "Carbohydrates (found in the leaves) control both quantitatively and qualitatively, the yield of higher plants".

Lundegardh recognises the complications in the method that arise from ion antagonisms, affecting the final concentrations of the nutrient elements in the leaf, and the effects of factors such as seasonal conditions, drought, etc., that may affect yields.

The method relates to the four elements, nitrogen phosphorus, potassium and calcium, for which "Index values" have been determined for cereal crops, grasses and potatoes ; these values represent the concentrations of the elements as mgm — atoms-100 gm. dry matter in the leaf at a definite stage of growth — around flowering time for the individual crops.

The curves relating to nutrient concentration and yield approximate to the Mitscherlich type, though the form is not regarded as constant.

Whilst the method has been shown to give valuable results for N, P, K and Ca, its use for other nutrient elements remains to be tested and, in

particular, difficulties may be found in applying it to problems of the trace elements, as has been indicated by Lundegardh (10) and Steenbjerg (11).

(6) *Quick chemical tissue tests* (12, 13).

These are essentially rapid qualitative tests in which the nutrients are extracted from leaf parts — laminae or petioles — by extractants such as Morgan's reagent (20) and estimated by colorimetric and turbidimetric methods. The results are usually classified as low, medium and high amounts. By adopting strictly standardised procedures the results have been shown to correlate well with the results of "total" analysis over deficiency ranges. Suitable procedures are available for all the major nutrients and for some heavy metal contaminants, but they are not sufficiently delicate for the trace elements*.

The methods have their counterparts in the quick soil testing techniques. Procedures are available both for use in the field and in the laboratory.

(7) *Methods using plants as nutrient extractants from soils.*

(i) *Method of Mitscherlich* (14). — This method is based on relationships established between "growth factors" and yields, and is used for the examination of the effects of nitrogen, phosphorus and potassium added to the soil as fertilizers. The relationship is expressed as "The Law of Physiological Relationships" or "The Law of Diminishing Returns". The law states that "the increase in yield produced by a given increase of the growth factor is proportional to the decrement from the maximum yield which can be obtained by increasing that particular factor". The relationship is shown as a roughly logarithmic curve.

To carry out tests on soils, oats are grown to maturity as the test plants in pots in the soils mixed with definite proportions of sand-1 part soil : 2 parts sand by volume. The fertilizer treatments NPK, NP, NK and PK are given, the yields from the PNK treatment regarded as the maximum possible, and the effects of the omission of N, P and K respectively on the yield in the other treatments determined. The manurial yields for the three elements are calculated from the data by the appropriate equation. The method has been used only for N, P and K.

(ii) *Method of Neubauer* (15). — This method, which is used for the determination of phosphorus and potassium, was developed by Neubauer and Schneider following investigations on the absorption of nutrients from soils by seedling plants. The quantities of phosphoric acid and potash absorbed by rye seedlings were found to be dependent on the soil used and constant values for a given soil could be obtained when a standard technique was used.

* Nicholas has devised a test for manganese, but the conditions are too exacting for use in the field. (Ref : Nicholas, D. J. D. (1946), Detection of manganese deficiency in plants by tissue tests using tetramethylaminodiphenylmethane. *Nature*, 157, 696).

In the technique finally adopted for soil tests, rye seedlings are grown under standard conditions in glass dishes — at 20°C for 17 days — and the amounts of phosphorus and potassium absorbed by seedlings determined. The values obtained are designated the "root soluble" quantities in the soil. The values are compared with so-called "limit values" for the two nutrients for various crops (i. e. values from soils giving high yields of the crops) and are related to scales of fertilizer dressings to produce maximum yields.

The method is empirical and is basically similar to soil analysis methods using chemical solutions to extract "available" nutrients.

(b) *Soil analysis methods.*

(8) *Determination of "available" nutrients by extractant solutions (16).*

The earliest of these methods was that of Dyer (17), who used as extractant a 1% solution of citric acid, which he considered was similar in extractant power for phosphorus and potassium to the root systems of crop plants. The method correlated fairly well with crop yields for some soils, but was unsatisfactory when applied to highly calcareous soils. Since Dyer's time many solutions, both of acids and neutral salts, have been advocated and found useful for special purposes, but all such methods are empirical and they do not measure definite homogenous soil fractions of either phosphorus or potassium, but rather fractions consisting of forms of variable availability to plants.

To give precision to any of these methods they need to be correlated with crop yields and fertilizer responses and with soil types.

(9) *Determination of exchangeable cations (18).*

These methods measure definite forms of the soil bases, the amounts held by the soil colloids, which are presumed to be readily available to plant roots by exchange reactions. The most useful determinations for crop correlations are possibly those of potassium and magnesium; calcium status is often sufficiently well defined by pH and calcium carbonate content, whilst sodium is generally only of importance where it is a dominant cation in alkaline soils.

(10) *Soil tests correlating chemical data with crop response and fertilizer dressings (19).*

These tests, whose objects may be regarded as parallel to those of leaf analysis methods, have been developed for special soil areas and particular crops by Bray. So far the tests have been developed only for potassium and phosphorus, but it is considered that they could also be applied to magnesium. Bray considers elaborate tests would not generally be worth while for calcium and sulphur, that they cannot be applied to nitrogen because of the forms in which it occurs in soil, nor at present to the trace elements because of their mode of occurrence, lack of methods of estimating definite forms in the soil and the small amounts involved.

ii) *Rapid soil tests*:

These tests occupy a position among soil analysis methods similar to the rapid tissue tests on plant tissues. They permit of the classification of nutrient levels into high, medium and low categories, and are useful preliminary tests suitable for use in the field and needing very little apparatus.

The tests were introduced by M. F. Morgan, (20) whose extractant solution is also widely used for plant tissue tests.

(12) *Methods using micro-organisms as extractants*.

The basic ideas underlying this method are that the requirements for mineral nutrients of certain micro-organisms are similar in nature — though of course not in amounts — to those of crop plants, and that their powers of extracting the nutrients from soils parallel those of the crops. If these views are correct, then the organisms would be expected under suitable test conditions to indicate the likely availability of nutrients to the crops.

The tests, as evolved, had their origin in the observations of Winogradsky (21), who showed that colonies of *Azotobacter* would grow luxuriantly on soil plaques when materials providing energy and minerals in suitable form were provided. The facts established by Winogradsky were later applied as a soil test for phosphorus and potassium by Sackett and Stewart (22). Later Niklas and Poschenrieder (23), following suggestions by Butkewitsch, developed methods, based on the use of *Aspergillus niger* for phosphorus, potassium and magnesium, which were subsequently improved by Mehlich (24 a/b) and others. E. G. Mulder (25) used the *Aspergillus niger* method for the determination of copper, magnesium and molybdenum, and later Mulder's strain of the organism was used by Nicholas and Fielding (26) for magnesium and the micro nutrients manganese, copper, zinc and molybdenum. Nicholas (unpublished) found the organism unsuitable for the estimation of available iron in soils, as it appeared able to extract enough iron for maximum growth from all the soils examined, even though these were seriously deficient for crop plants. He was also unable to show that boron was essential for *Aspergillus*, though Gerretzen has reported that it is essential for the growth of *Azotobacter* (27) and maybe also for *Aspergillus*- (28).

Whilst the *Aspergillus* methods appear to give comparable results with chemical methods for phosphorus, potassium and magnesium, the exacting conditions necessary are likely to preclude its use for these elements. On the other hand, it would appear to be of special value for the trace elements (except iron, with boron also doubtful).

To carry out a test a known weight of air-dry soil is added to a prepared nutrient medium, lacking only the element under test, and inoculated with spores of the fungus. The culture is incubated at a standard temperature for a standard period, at the end of which the weight of dried fungus felt is determined and compared with a standard grown with a complete nutrient solution. The amount of sporulation and the colour (for copper) also give

useful indications of the level of the element under test. The results may be expressed as low, medium and high.

(c) *Field experiments with fertilizers.*

Field experiments must remain the final testing ground to check the usefulness of laboratory methods, and are essential for obtaining accurate yield data and for measuring fertilizer responses to correlate with laboratory data on plants and soils.

The great need in field experiments has been to devise methods of estimating the errors inherent in field methods in order to appraise the significance of yields and responses to nutrient treatments. The precision of such experiments has been greatly increased by the application of statistical methods and the introduction of improved experimental plot designs and improved methods of applying the plant nutrients.

In spite of such improvements it must be realized that care will always be needed in interpreting the data of fertilizer responses obtained in field experiments, due to the complex chemical interactions that occur in soils and the effects that "other" soil factors may produce on the growth of the crops and on the nutrients applied.

CONCLUSION

From this brief survey it will be seen that there are a number of methods based on plants and soils, available for the estimation of nutritional problems of crops, each capable of yielding useful though limited information.

In the main the methods are qualitative rather than quantitative, and empirical in character. Some are obviously suited only for preliminary diagnosis and some have been especially designed for speed and use in the field.

The great need is for precise methods that relate fundamental soil or plant data with yield response, and in this respect the plant analysis method of Lundegardh is perhaps the most advanced. Of the soil methods that of Bray marks a similar attempt to find such a basis for phosphorus and potassium.

There obviously remains a vast field to be explored, and of the methods to be investigated that of plant analysis offers to be rewarding both in relation to the major and trace element nutrients.

June 1956.

REFERENCES

1. WALLACE, T. 1951. The diagnosis of mineral deficiencies in plants. A colour atlas and guide. 2nd Edition. H. M. Stationery Office, London.
2. HAMBIDGE, G. and others. 1941. Hunger signs in crops. Amer. Soc. Agron. and the National Fertilizer Assoc., Washington, D. C.
3. BENNETT, J. P. 1931. The treatment of lime-induced chlorosis with iron salts. University of California Agric. Expt. Stn. Circ. 321.

4. ROACH, W. A. 1938. Plant injection for diagnostic and curative purposes. Imp. Bur. of Hort. and Plantation Crops, East Malling Tech. Comm. 10.
5. LAGATU, H. and MAUME, L. 1924-1933. Investigations on leaf diagnosis : Collected notes from Comptes Rendus de l'Académie des Sciences. Annales de l'École Nationale d'Agriculture de Montpellier. N. S. 22, 4, 257-306.
6. THOMAS, W. and MACK, W. B. 1939. Control of crop nutrition by the method of foliar diagnosis. Penn. State College Expt. Stn. Bull. 378.
7. HALAIS, P. 1948. Foliar diagnosis : a comparative index of the mode of nutrition of sugar cane. Revue agricole de l'Ile Maurice, 27, 3, 122.
8. LUNDEGARDH, H. 1945. Die Blattanalyse — authorized translation, Leaf Analysis, by R. L. Michell (1951). Hilger and Watts Ltd., London.
9. GOODALL, D. W. and GREGORY, F. G. 1947. Chemical composition of plants as an index of their nutritional status. Imp. Bur. Hort. and Plantation Crops, East Malling, Tech. Comm. No 17.
10. LUNDEGARDH, H. 1954. Physiological aspects on tissue analysis as a guide to soil fertility. Plant Analysis and Fertilizer Problems. Colloquium, Inst. de Recherches pour les Huiles et Oléagineux, Paris.
11. STEENBJERG, F. 1951. Yield curves and chemical plant analysis. Plant and Soil, 3, 97.
12. THORNTON, S. F., CONNER, S. D. and FRASER, R. R. 1939. The use of rapid chemical tissue tests on soils and plants as aids to determining fertilizer needs. Purdue Univ. Agric. Expt. Stn. Circ. 204 (revised).
13. NICHOLAS, D. J. D. 1948. The application of rapid chemical tests to the diagnosis of mineral deficiencies in horticultural crops, Parts I and II. J. hort. Sci., 24, 2.
14. MITSCHERLICH, A. E. 1909. Landew. Jahrb. 38, 537.
15. NEUBAUER, H. and SCHNEIDER, W. 1923. Ztschr. Pflan. Düng. 2A, 329.
16. PIPER, C. S. 1944. Soil and plant analysis. Pub. by Univ. of Adelaide.
17. DYER, B. 1894. On the analytical determination of probably available mineral plant food in soils. Trans. Chem. Soc. (London), 45, 115.
18. PEECH, M. 1949. Diagnostic techniques for soils and crops ; Chapt. I. The Amer. Potash Instit., Washington, D. C.
19. BRAY, R. H. 1949. Correlation of soil tests with crop response to added fertilizers and with fertilizer requirement. *Ibid.*, Chapt. II.
20. MORGAN, M. F. 1939. The universal soil testing system. Conn. Agr. Exp. Stn. Bull. 392 (1937) revised.
21. WINOGRADSKY, S. 1925. Etudes sur la microbiologie du sol : II. Sur les microbes fixateurs d'azote. Ann. Institut Pasteur, 40, 455.
22. SACKETT, W. G. and STEWART, L. C. 1931. A bacterial method for determining mineral soil deficiencies by use of the soil plaque. Colorado Agr. Expt. Stn. Bull. 375.
23. NIKLAS, H. and POSCHENRIEDER, H. 1932. Die Ernalher. Pflanze, 28, 86.
- 24 a. MEHLICH, A., TRUOG, E. and FRED, E. B. 1933. The *Aspergillus niger* method of measuring available potassium in soil. Soil Sc., 35, 259.
- 24 b. MEHLICH, A., FRED, E. B. and TRUOG, E. 1934. The *Aspergillus niger* method of measuring available phosphorus in soil. *Ibid.*, 38, 445.
25. MULDER, E. G. 1940. The use of micro-organisms in measuring deficiency of copper, magnesium and molybdenum in soils. Ant. V. Leeuwenhoek, 6, 99.
26. NICHOLAS, D. J. D. and FIELDING, A. H. 1951. The use of *Aspergillus niger* (M) for the determination of magnesium, zinc, copper and molybdenum available in soils to crop plants. J. hort. Sci., 26, 125.
27. GERRETSSEN, F. C. and DE HOOP, H. 1954. Boron, an essential micro-element for *Azotobacter Chroococcum*. Plant and Soil, 5, 349.
28. GERRETSSEN, F. C. 1955. The role of manganese in relation to photosynthesis. Paper contributed at a Study Week held under the auspices of the Pontifical Academy of Sciences, Vatican City, May 1955 (In the press).

Some problems of foliar diagnosis for orchard fertilizer recommendations

by John C. CAIN

New York State Agricultural Experiment Station, Geneva, N. Y.

INTRODUCTION

Modern trends toward mechanical automation in industry and the popular belief and trust in the magic of science may be leading many of our growers, and some extension personnel to the assumption that technical information and "know how" is available for the correct diagnosis and treatment of every suspected nutritional problem or tree symptom to be found in the orchard. The growing by-word in some areas for the diagnosis and treatment of all fertilizer problems is leaf analysis. Needless to say, diagnosis and prognosis in the field can never achieve the accuracy of the analytical and experimental technique.

Although the mineral analysis of plant tissue is an extremely valuable and helpful means for determining the nutritional status of plants and for following changes in plant content as a result of experimental nutritional treatment, the correlation of leaf concentration with the rate of fertilization on the one hand and with the productiveness of the plant on the other does not justify the mathematical precision with which leaf analysis data are sometimes interpreted. A more thorough appreciation for the dynamic nature of mineral concentrations and movements in plants, as well as an awareness for the vast magnitude of the things we do *not* know about specific nutrient functions in plants, is essential to proper interpretation of these data.

First the simple assumption that *if* the leaf concentration of a certain nutrient is below a given value, more fertilizer should be applied, is not always valid. Second the quantity to be applied to the soil to achieve a desired increment in the plant varies greatly within rather small areas. The former is largely due to variations and interactions between different nutrient ions, metabolic processes and growth rate within the plant. The latter is largely associated with soil and climatic factors relating the movement of nutrients and water through the soil and to the exchange of nutrients between soil and plant roots.

Several reviews in recent years (2, 10, 12, 16, 17, 20) have pointed out many factors influencing the mineral composition of plant tissue other than

that of the soil concentration of the nutrient in question and certainly there are many unknown or less understood factors affecting the efficiency with which the plant may utilize mineral nutrients available to the plant root and after absorption.

The ideal interpretation of leaf analysis data in terms of fertilizer recommendation presupposes 1, a known and consistent relationship between leaf concentration and plant productiveness; 2, a known relationship between soil application and foliage content, and 3, that the analysis or concurrent information on soil and plant performance reveals why a particular nutrient is below or above a desired level in the leaf. For most usefulness these relationships should be applicable over a rather wide range of soil and weather conditions for a given crop.

Liebig (14) was probably the first to propose the principal of plant tissue analysis to the maintenance of soil nutrient supply for crops, and introduced the idea that plant growth may be limited by its mineral nutritional status. Over a century of research since Liebig, the volume of which has been an exponential function of elapsed time, has explored this great idea in almost every phase of horticulture. The expanding population in many countries may be used as a crude measure of man's ability to increase food production. Certainly a part of this can be attributed to a better knowledge of the use of mineral fertilizers. Yet the increase in precision with which mineral fertilizer requirements can be estimated for maximum production seems rather small for the time and effort put into it since Liebig's time.

This is largely due to the many factors affecting plant response whose influence is unknown or cannot be anticipated and cannot be controlled by man. Many such factors influence the relation between the mineral composition of the foliage, the absorption of nutrients from the soil and the response of the plant to its nutrient composition.

Perennial plants such as fruit trees are perhaps more adaptable to the procedure of foliar diagnosis of its nutritional status (16) because of the time necessary for diagnosis and the application of corrective fertilizers.

SAMPLING AND SYMPTOMS

It is a relatively simple matter to take leaf samples from a given orchard and analyze them for any nutrient element suspected of being deficient. It is less simple to analyze them for every nutrient element known to be essential for plant growth. Thus some symptomatology must be used concurrent with sampling in order to reduce the burden of analytical work in the laboratory. Routine analysis without a hunch as to what is wrong is limited to nutrients such as N, P, K, Ca and Mg which are required in rather large quantities by plants and which are easily determined in the laboratory.

When the sample is taken, consideration must be given to how well it represents the orchard to which fertilizers are to be applied. That variation in soil type (1) texture (11, 18) and microbial activity (19) affect nutrient

status has been pointed out. The type and age of leaf (2, 8, 9) soil moisture (1) the size of fruit crop (8) as well as variety, rootstock, insect and disease damage (2) also influence the composition of the leaf and thus the effectiveness with which the tree will respond to additional fertilizer. Obviously the greater the variation in these factors, the more detailed the sampling must be to properly adjust the rate of fertilizer application to the desired level. Thus the method of sampling an orchard must be based on visible evidence of past performance and symptomology.

SOIL ANALYSIS

Soil analysis although helpful, has been a rather poor index to nutritional status of fruit trees (11, 16, 18). This is no doubt partly due to inadequate sampling and extraction techniques. It is generally accepted that the tree itself provides the best sampling device for determining the fertility of a soil for that tree. However, concurrent soil and leaf analysis are useful for determining efficiency of fertilizer utilization and in turn for the diagnostician to estimate the application necessary to achieve desired nutritional status within the tree. The higher the soil/leaf ratio for a given nutrient, the more of that nutrient must be applied to achieve a given increment in leaf content. Thus the addition of soil analysis is helpful to the diagnostician.

INTERNAL FACTORS

Since analytical results are most conveniently and usually are expressed relative of dry weight of the leaf tissue, any internal plant factors which change the ratio of dry weight to mineral content of the leaf irrespective of absorption by the roots, would influence the results. An appreciation and knowledge of the dynamic nature of metabolic processes within a complex organism such as an apple tree, growth rate, distribution and translocation factors are of great importance in interpreting leaf analysis data.

Many internal nutritional interactions have been reported (3, 4, 11, 13 and others) which greatly influence leaf concentration. Many of these, especially certain interrelationships between nitrogen, potassium and magnesium have been shown to be associated with growth rate and internal distribution within the plant and more or less independent of total plant absorption (3, 4, 5, 6). The nitrogen status of the apple tree greatly effects nearly all major nutrients (2, 4, 5, 8) and the reciprocal relationship between potassium and magnesium are well known (4, 6, 15). The minor elements at deficiency or toxic levels may also greatly effect the composition of other elements and certainly its relation to metabolic processes and tree performance (7, 13). Thus it almost becomes a necessity not only to know a great deal about the past performance, cultural practices and soil conditions, but to make analysis for several nutrient elements in order to make the most use of foliar diagnosis.

A study of the seasonal distribution of potassium in young bearing apple trees grown in sand culture at low and high potassium levels and its relation to leaf concentration and fruit production is of interest in understanding the relationship between absorption and the movement of potassium in the tree during growth. Table 1 shows data for 3 year old Golden Delicious

TABLE 1. — Total K distribution and leaf concentration in young Golden Delicious apple trees during the season (milligrams of K per tree).

Days	Low K Trees						High K Trees					
	0	17	33	63	129	225	0	17	33	63	129	225
Period	Dormant	Bloom	Vegetative	Harvest	Dormant	Dormant	Bloom	Vegetative	Harvest	Dormant		
Fruit . . .	11*	37	38	31	292	369	7*	75	117	531	1 210	1 385
Leaves . . .		82*	200*	127	231	168		156*	323*	841	981	945
New Shoots . . .				24	59	58				75	119	127
Bark . . .	86	40	45	23	84	112	161	101	152	132	162	237
Wood . . .	45	28	33	25	69	74	89	50	113	104	139	104
Roots . . .	220	178	110	126	233	252	371	349	372	407	439	561
Tot. Tree	362	365	426	356	968	1 033	628	731	1 077	2 090	3 050	3 359
% Leaf K		1.13	0.81	0.51	0.47	0.37		2.05	2.24	2.41	2.29	1.73

* Initial sample for fruit was dormant fruit buds. Leaf and new shoots were not separated in early growth stages.

cious apple trees on Malling VII rootstock during their second year of feeding with complete nutrient solutions containing 0.5 and 4.5 m. e./l. of potassium. With the beginning of growth in the spring, large quantities of K move out of the body of the tree into the leaves and fruit leaving a deficit in the roots. This is slowly recovered by absorption, the roots regaining their initial K content only after two months at the low K level whereas recovery is much more rapid with adequate K supply. At low K levels the leaves and fruit contain about one-half of the total tree K at harvest time, with about one-third in the fruit alone. Even with adequate K supply these new tissues contain over one-third of the total tree K. This also illustrates the annual removal of K in the fruit crop and the probable necessity of its replacement. Although in this case leaf tissue concentration clearly reflects the total K status of the tree, at less severe deficiency levels with a light fruit crop the leaf concentration may be built up at the expense of the remainder of the tree without adequate replacement by further absorption.

Table 2 shows an accounting of the K absorbed and that lost in fruit and leaves. It is of interest to note that only a small portion of the total K absorbed during the season remains in the tree after leaf fall, about half of which is moved out of the leaves back into the tree between harvest and leaf fall time. Based on these figures it is doubtful if an apple tree could produce an adequate crop if deprived of further K absorption for one season. The fruit

TABLE 2. — The potassium "account" in 3 yr. old Golden Delicious apple trees in late season and its relation to growth and production (milligrams K per tree).

	Low K Trees			High K. Trees		
	Harvest	Leaf fall	Diff.	Harvest	Leaf fall	Diff.
Total	968	1 033		3 050	3 359	
Initial tree	362	362		628	628	
Net K absorbed	606	671	65	2 422	2 731	409
K in fruit	292	369	77	1 210	1 385	276
Remainder	314	302		1 212	1 346	
K in leaves	231	168	-63	981	945	-36
Remainder	83	134	61	231	407	169
Fresh Fruit (gms)	496			1 013		
Dry Wt. Tree (gms)	1 016	1 228		1 081	1 504	
Fruit/K	800			417		
% Leaf K47	.37		2.29	1.73	

yield was doubled by the increased K supply with only 25 % increase in tree weight, exclusive of fruit. However, the efficiency of K performance as measured by fruit/K ratio was greater in the K deficient trees. Thus every additional bushel of apples will cost more in terms of K fertilizer and it becomes a matter of economics to determine the point of diminishing returns.

Other data (6) has shown that leaf concentration is determined by the rate of absorption in relation to the rate of growth and the movement of K from roots to leaves. At slow rates of absorption during the growth period the leaf concentration decreases rapidly because the demand exceeds the supply. However at higher levels of supply in the nutrient solution during the same growth period the leaf concentration may be made to increase steadily. In both cases total plant uptake continues but at different rates in relation to the rate of growth. Likewise, the curtailment of growth rate, for instance by nitrogen deficiency or drouth, may increase the leaf concentration of K without greatly influencing the rate of absorption or level of supply.

The interpreter of leaf analysis data must have a thorough knowledge and appreciation of these plant, soil and moisture relationships, nutritional interactions and seasonal cycles, and have the ability to integrate them with the known history of tree performance before he can make a fertilizer recommendation. The value of such a service to the farmer is largely dependent on the skill and knowledge of the interpreter. It is seldom worth while in the hands of an amateur or biased personnel. Thus it probably should not be under control of fertilizer companies whose primary interest is that of selling fertilizer.

FOLLOW UP

Orchard trees, because of their perennial nature, are particularly suited to follow up procedure. This is perhaps the most valuable part of a leaf

analysis program where a long range fertility maintenance program is the main goal. This procedure may be compared with the old-fashioned method of artillery fire control. The first shot is fired based on visual range estimation. This shot is then *observed* and suitable correction made to make the second shot come closer to the target. Likewise after a recommendation is made based on the first leaf analysis, the same location should be sampled again the following year to *observe* the results. Then the recommendation can be adjusted more accurately, after three or four years of « shooting » in this manner one can arrive at a rate of fertilizer application which will maintain nutritional status within the range of variability permitted by year to year variations in growing conditions.

For a grower leaf analysis service organization for tree crops, a sampling period of at least three years is recommended for greatest efficiency of the diagnostic techniques. This should then be followed by repeat sampling every second or third year for the life of the orchard. The analytical data can be more accurately interpreted after two or three years and thus becomes more valuable to the grower.

Obviously this procedure requires a considerable amount of record keeping and must be in the hands of trained personnel. Just as the individual patient's medical record is essential to good diagnostic performance by the physician, the orchard performance and leaf and soil analysis record becomes more valuable to the agricultural scientist. Other information such as the use of mulches, manure, cultural practice, yield and quality of the crop, etc..., are also of value in subsequent recommendations. Analytical data from the tree or soil is seldom of much value alone. However when used in combination with a broad knowledge of nutritional, soil and climatic factors and « horticultural horsesense », the agricultural diagnostician should be of as much value to the farmer as the medical diagnostician is to man and his livestock.

LITERATURE CITATION

1. BOYNTON, D., J. C. CAIN and O. C. COMPTON. 1944. Soil and seasonal influences on the chemical composition of McIntosh apple leaves in New York. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 44 : 18-24.
2. BOYNTON, D., and O. C. COMPTON. 1945. Leaf analysis in estimating the potassium, magnesium and nitrogen needs of fruit trees. Soil Sci. 59 : 399-351.
3. CAIN, JOHN C. 1948. Some interrelationships between calcium, magnesium and potassium in one year old Mc Intosh apple trees grown in sand culture. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 51 : 1-12.
4. — 1953. The effect of nitrogen and potassium fertilizers on the performance and mineral composition of apple trees. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 62 : 46-52.
5. — 1953. The absorption and distribution of mineral nutrients in apple trees as affected by nutrient supply. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 62 : 53-66.
6. — 1955. The effect of potassium and magnesium on the absorption of nutrients by apple trees in sand culture. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 65 : 25-31.
7. — 1955. A comparison of chlorotic and green blueberry leaf tissue with respect to free amino acid and basic cation content. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 65 : 49-53.

8. — and D. BOYNTON. 1948. Some effects of season, fruit crop and nitrogen fertilization on the mineral composition of McIntosh apple leaves. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 51 : 13-22.
9. GOODALL, D. W. 1945. Studies in the diagnosis of mineral deficiency. III. The mineral composition of different types of leaf in apple trees in early summer. Journ. Pom. and Hort. Sci. 21 : 103-107.
10. — and F. G. GREGORY. 1947. Chemical composition of plants as an index to their nutritional status. Imp. Bur. Hort. and Plant Crops. Tech. Com. N° 17. Wales, England.
11. GRUPPE, WERNER. 1955. Vergleichende blatt-und bodenuntersuchungen in apfelplantagen und baumschulen unter besondern berücksichtigung von kalium und magnesium. III. Das auftreten von kalium und magnesium-mangel bie apfelbäumen in Nordwest Deutschland. Gartenbauwissenschaft 20 : 3-29.
12. HEWITT, E. J. 1951. The role of mineral elements in plant nutrition. Ann. Rev. Plant Physiol. 2 : 25-52.
13. — 1954. Metal interrelationships in plant nutrition. II. The relationship of metal toxicity, and magnesium content of beet in sand culture. Jour. Exp. Bot. 5 : 110-118.
14. LEIBIG, J. von. 1840. Chemistry and its application to agriculture and physiology.
15. PIERRE, W. H. and C. A. BOWER. 1943. Potassium absorption by plants as affected by cation relationships. Soil Sci. 55 : 23-36.
16. REUTHER, W. and P. F. SMITH. 1954. Leaf analysis as a guide to the nutritional status of orchard trees. Colloquium of Plant Analysis and Fertilizer Problems. Inst. Res. pour Huiles. Paris, France.
17. SHEAR, C. B., H. L. CRANE and A. T. MEYERS. 1948. Nutrient element balance. Application of the concept to the interpretation of foliar analysis. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 51 : 319-326.
18. TITUS, J. S. and D. BOYNTON. 1953. The relation between soil analysis and leaf analysis in 80 New York orchards. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 61 : 6-26.
19. WADLEIGH, C. H. 1954. Mineral nutrition of plants as related to microbial activity in soils. Proc. Soil Microbial Conf., Purdue University, June, 1954.
20. — 1945. Mineral nutrition of plants. Ann. Rev. Biochem. 655-678.

DISCUSSION

DULAC (Montpellier, France). — *Quels sont les rameaux et les feuilles choisis ?*

CAIN. — In the field, leaves are taken from terminal shoots distributed around the outer periphery of the tree about three to seven feet from the ground. This is obviously for the convenience of the sampler but has been found to give satisfactory representation.

CLARK (Green Giant Co, Le Sueur, Minnesota). — *What stage are the leaves sampled ? You specify a standard time. Does this stage correspond to bloom or budding ?*

R. — Although seasonal curves are useful in many cases, for routine diagnostic work we have found that a single sample taken during the two week period following the cessation of terminal shoot growth to be most satisfactory. Leaves are selected from the center one-third of the shoot.

GOUNY (Inra). — *Sur les pommiers, M. Cain procède à une seule analyse foliaire par an. Comment choisit-il la date de prélèvement et pourquoi ?*

R. — Both the seasonal change in nutrient concentration and the variation between tip and basal leaves are most stable during a limited period of time

following the formation of terminal buds. There is no one type of tissue or time of sampling that would give maximum sensitivity for *all* nutrient elements. The sampling technique described was chosen as being most suitable where it is desired to use one sample for the determination of several major nutrients.

X ... — *M. Cain prend-il la feuille entière ou fait-il une discrimination pour le pétiole ?*

R. — The entire leaf is used.

LEYTON (Forestry Dept., Oxford University). — 1) *Whether relation between leaf and soil K would be improved by consideration of partial (or multiple) correlation instead of simple correlation.*

R. — I fail to see how different statistical treatment could improve the relationship between soil leaf content. The lack of a soil sampling technique that closely approaches the sample of soil nutrients taken by the tree, plus variations in soil physical conditions affecting the efficiency of absorption, are responsible for most of the discrepancy.

2) *Whether interpretation of nutrient relations in terms of fruit yield would be fundamentally different from interpretations in terms of volume or height yield in trees.*

R. — Other factors being equal, fruit production is directly related to tree size. Both factors must be considered in experimental work since some nutrient factors directly influence vegetative growth and others may be more associated with fruit formation.

BROESHART (Yaligimba, Congo Belge). — *Is there a particular reason to express leaf analysis data on a basis of leaf area ?*

R. — For certain experimental techniques, especially where samples are taken with a leaf punch, it becomes desirable to express results in terms of leaf area.

DULAC (Université de Montpellier). — *Quel est le diamètre des rondelles ?*

Q. — I used a standard leaf punch of 1 cm² in area.

M^{me} HUGUET (Stat. Agro. de Montfavet, Vaucluse, France). — *Diagnostic foliaire du pêcher : Quelles sont les feuilles choisies pour le prélèvement ?*

R. — Peaches are samples the same as apples. The date of sampling is usually somewhat later.

BUTYN (Netherlands). — *Is there a difference in leaf content of different minerals in succeeding years ? Do you prefer to take leaf samples in a certain period of the season ?*

R. — There is great variation from year to year on the same tree. Soil moisture and temperature, the size of fruit crop and other factors already discussed, contribute to this variation.

BUTYN. — *It is necessary to take leaf samples in 3 years to be able to give a good advice. Can a sample of a certain orchard not be commented taking a series of leaf samples of a « standard orchard » as a comparison, making it unnecessary to take leaf samples in 3 succeeding years of an orchard ?*

R. — The more often an orchard is sampled in succeeding years, the better should be the diagnosis. We would expect to improve with experience.

LIWERANT (Toulouse). — *Les feuilles médianes à prélever pour le diagnostic foliaire d'après la technique du conférencier sont-elles déterminées d'après la longueur de la pousse ou le nombre de feuilles de la pousse ? A-t-on prélevé les feuilles médianes sur des pousses de même longueur ou portant le même nombre de feuilles ? ou, au contraire, n'a-t-il pas été tenu compte de ce facteur de variation ?*

R. — In routine sampling for diagnostic purposes, leaves are taken from the central portion of the shoot without regard to distance between nodes. The variation from tree to tree within the same orchard is usually greater than those encountered due to leaf age by this procedure.

WALSH (Dept of Agriculture, Ireland). — *I wish to raise two points with Dr. Cain.*

1) *How does he interpret results in the deficiencies and luxury threshold ranges. Does he take a specific level or does he consider a range within which variations will take place as a result of nutrient interaction within the tissue—both major element and trace element.*

R. — Interaction between nutrient ions has been discussed. These must be considered in the interpretation of analytical results, especially those of N and K. We do not know enough about interactions between trace elements to formulate general rules for routine use in field work.

2) *Dr. Cain has used the N content of plant tissue as a guide-level. This is of limited value in that it is the qualities in addition to the quantities of N nutrition which matters.*

R. — There are two factors concerned here, the form of nitrogen used as a fertilizer and the nitrogen metabolism by the plant. Generally we have found no great difference in effectiveness of different common nitrogen fertilizers on tree fruits other than rate of availability. As for the quality of nitrogen metabolism, this is controlled by factors within the plant other than nitrogen level, such as other nutrients, disease and climatic factors. Our experience has been that the level of total nitrogen in the leaf is a good guide to the use of more fertilizer nitrogen. Toxic levels are usually manifest by leaf injury symptoms.

Composition minérale du tabac en fonction du milieu nutritif

par

Marcel V. HOMÈS

Professeur

Germaine H. VAN SCHOOR

Chef de Travaux

Université de Bruxelles

I. INTRODUCTION

Cette note étudie les principales données analytiques relatives à une expérience sur le tabac (*Nicotiana tabacum* var. 15 Gembloux), expérience décrite dans un travail précédent (1). La réalisation des expériences et l'exécution des analyses ont été assurées par le Centre d'Etudes et de Recherches sur l'Aquiculture (C. E. R. A.) annexé à l'Université de Bruxelles et placé sous l'égide de l'Institut pour l'Encouragement de la Recherche Scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture (I. R. S. I. A.) que nous remercions de son intervention.

Nous discuterons ici uniquement des données relatives à la dix-neuvième feuille formée et au fragment de tige limité par les bases des dix-septième et vingtième feuilles, organes prélevés à la récolte sur les quatorze plantes de tabac de chaque traitement. Les feuilles inférieures ayant été enlevées lors de l'écimage, la feuille analysée se trouve être la quatrième définitive à partir du bas et la onzième à partir du haut.

II. MÉTHODES

Le séchage, la mise en poudre des organes prélevés, leur incinération, leur mise en solution, la technique de l'analyse ont été décrits dans des travaux précédents (2). Les résultats mentionnés dans les tableaux suivants

(1) Marcel V. Homès et Germaine H. Van Schoor. — « Expérimentation sur le tabac par la méthode des variantes systématiques, portant sur les huit éléments nutritifs ». (Communication présentée au Congrès de la science du sol. Paris, août 1956).

(2) A. GILS. — « Méthodes rapides d'analyse minérale (C. R. de Recherches de l'Irsia, n° 3, juin 1950 et Marcel V. Homès et Germaine H. Van Schoor. — Composition minérale du cacaoyer en fonction du milieu nutritif dans « Alimentation minérale du cacaoyer » (I. N. E. A. C., série scientifique, n° 58, 1953).

sont les moyennes de huit résultats d'analyse (quatre mises en solution sur lesquelles les éléments sont dosés en double), les déviations standard de ces moyennes ont été calculées. Vu l'étendue limitée de cette publication, nous nous bornerons à estimer l'erreur à $\pm 5\%$ sur les résultats d'analyse.

TENEURS EN MILLEQUIVALENTS-GRAMMES POUR 100 g. DE MATIERE VEGETALE (190 feuilles)

Gou pe ment chim ique dose	S Y M B O L E S D E S T R A I T E M E N T S											
	à même équilibre cationique					à même équilibre anionique						
	No3	SO4	PO4	Cl	Moyenne	X	Ca	Mg	Na	Moyenne		
a	No3	249,4	168,6	162,9	173,3	188,6	220,3	213,2	204,8	228,6	216,5	202,6
n	SO4 / 2	23,7	30,8	24,5	18,3	24,3	28,1	28,3	28,2	38,1	30,7	27,7
i	PO4 / 3	25,9	40,4	39,9	42,4	37,1	38,3	37,8	39,7	44,2	40,0	38,6
o	Cl	85,4	129,1	122,2	202,7	134,9	95,7	125,6	108,6	121,4	109,9	122,4
s	Total -	384,4	368,9	349,5	436,7	384,9	392,4	404,9	381,3	452,3	397,3	391,1
c	K	125,5	128,0	129,0	128,5	126,8	188,0	124,5	113,5	158,5	141,1	133,9
t	Ca / 2	171,5	128,0	121,0	159,5	147,5	116,0	182,0	103,5	154,5	139,0	143,3
i	Mg / 2	102,9	67,2	76,5	74,0	80,2	68,7	67,4	151,3	84,9	97,1	86,6
n	Na	6,2	2,5	3,5	3,1	3,8	5,6	4,1	4,8	10,4	6,2	5,0
s	Total - et +	407,1	355,7	326,0	365,1	358,3	378,3	378,0	373,3	388,3	379,4	368,8
b	Total - et +	791,5	704,6	675,5	801,8	743,2	760,7	782,9	704,5	820,6	776,7	759,9
a	No3	23,6	15,9	14,9	15,5	17,5	18,4	19,5	18,7	20,3	19,3	18,4
n	SO4 / 2	2,2	2,9	2,2	1,6	2,3	2,4	2,6	2,6	3,4	2,7	2,5
i	PO4 / 3	2,5	3,8	3,7	3,8	3,4	3,2	3,5	3,6	3,9	3,6	3,5
o	Cl	8,1	12,2	11,2	18,1	12,4	8,0	11,5	9,9	10,8	10,1	11,2
s	Total -	36,4	34,8	32,0	39,0	35,6	52,0	37,1	34,8	38,4	35,7	35,6
c	K	11,9	12,1	11,4	11,5	11,7	15,7	11,4	10,4	12,3	12,5	12,1
t	Ca / 2	16,2	13,0	11,1	14,2	13,6	9,7	16,7	9,5	13,8	12,4	13,0
i	Mg / 2	9,7	6,3	7,0	6,6	7,4	5,6	6,2	13,8	7,6	8,3	7,9
n	Na	0,6	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,4	0,4	0,9	0,6	0,5
s	Total - et +	38,4	31,6	29,8	32,6	33,1	31,5	34,7	34,1	34,6	33,8	33,5
b	Total - et +	74,8	65,4	61,8	71,6	68,7	63,5	71,8	68,9	73,0	69,5	69,1

III. DONNÉES ANALYTIQUES

Ces données sont réunies dans les tableaux 1, 2 et 3. Dans ces tableaux, les symboles correspondent à l'ion dominant au sein du groupe ionique soumis à variation. Ces symboles correspondent aux numéros utilisés dans la publication citée, de la façon suivante :

MÉNOMÈTRE EN MILITRÉ ÉQUIVALENTS-GRAMMES POUR 100 g. DE MATIÈRE VÉGÉTALE (équivalent de tige)

Tableau 2.		SYMBOLES DES TRAITEMENTS										Complément ionique invariant								
		à même équilibre cationique					à même équilibre anionique													
Grouppement chimique		NO ₃	SO ₄	PO ₄	Cl	Moyenne	K	Ca	Mg	Na	Moyenne	NO ³	SO ⁴	PO ⁴	Cl	K	Ca	Mg	Na	Moyenne générale
a	n	NO ₃ ·	159.6	94.0	87.3	96.0	109.2	135.9	122.5	134.9	137.1	132.6	121.8			cations				
n	n	SO ₄ / 2	16.2	17.7	13.7	13.2	15.2	17.0	16.4	16.4	18.7	17.1	16.2			cations				
1	o	PO ₄ / 3	33.6	35.3	35.5	35.9	35.1	39.7	35.5	37.0	38.7	37.7	36.4			cations				
o	n	O ₃	55.9	49.6	44.4	74.0	56.0	60.7	51.9	51.4	58.5	55.6	55.8			cations				
s		Total -	265.3	196.6	181.9	219.1	215.5	253.3	226.4	229.7	253.0	243.0	230.2			cations				
c		K	101.8	91.6	88.6	91.1	93.3	134.4	93.2	91.8	97.4	104.2	98.7			cations				
b		Na	51.8	51.0	41.8	54.9	49.9	39.5	55.8	28.9	48.2	43.1	46.5			cations				
1		Mg	32.9	27.4	29.5	28.6	29.6	27.1	25.9	60.5	30.9	35.6	32.6			cations				
c		Na	12.4	4.0	6.4	5.1	7.0	10.1	8.4	8.7	13.0	10.0	8.5			cations				
s		Total +	198.9	174.0	166.3	179.7	179.8	211.1	181.3	189.9	189.5	192.9	186.3			cations				
		Total - et +	464.2	370.6	348.2	398.8	395.3	464.4	417.7	429.6	442.5	435.0	416.5			cations				
c		NO ₃	20.1	14.9	14.1	14.9	16.0	17.6	20.6	21.6	18.2	19.5	18.0			cations				
n		SO ₄ / 2	2.0	2.8	2.2	2.0	2.3	2.2	2.8	2.6	2.5	2.5	2.4			cations				
1		PO ₄ / 3	4.2	5.6	5.7	5.6	5.3	5.1	6.0	5.9	5.1	5.5	5.4			cations				
o		O ₃	7.0	7.9	7.2	11.5	8.4	7.9	8.7	8.2	7.8	8.1	8.3			cations				
s		Total -	33.3	31.2	29.2	34.0	32.0	32.8	38.1	38.3	33.6	35.6	34.1			cations				
c		K	12.8	14.5	14.3	14.1	13.9	17.4	15.7	14.7	12.9	15.2	14.0			cations				
b		Na	6.5	8.1	6.8	8.5	7.5	5.1	9.4	4.6	6.4	6.4	6.9			cations				
1		Mg	4.2	4.3	4.8	4.4	4.4	3.5	4.0	9.7	4.1	5.3	4.9			cations				
c		Na	0.6	1.0	0.8	1.0	1.0	1.3	1.4	1.4	1.7	1.5	1.2			cations				
s		Total +	25.1	27.5	26.9	27.8	26.8	27.3	30.5	30.4	25.1	28.4	27.6			cations				
		Total - et +	58.4	58.7	56.1	61.8	58.8	60.1	68.6	68.7	58.7	60.0	61.7			cations				

Les termes « total — » et « total + » signifient respectivement total des éléments anioniques exprimés en milliéquivalents-grammes (équivalents négatifs) et total des éléments cationiques (équivalents positifs). L'expression « total — et + » représente la somme des deux précédents totaux. Les proportions et le rapport A/C figurant au tableau 3 s'entendent toujours sur la base des teneurs exprimées en milliéquivalents-grammes.

Tableau 2 PROPORtIONS CITOYENNALES DES ANIONS OU DES CATIONS AU SIN DE LEUR TOTAL RESPECTIF
- Cl et Na compris A/C = rapport de la somme des anions à la somme des cations

GROUPEMENT CHIMIQUE		SYMBOLS		TRAITEMENTS										Moyenne générale					
				A même équilibre cationique à même équilibre anionique															
dose	n°3	NO3		PO4		Cl		Moyenne		K		Ca		Mg		Na		Moyenne	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
a	NO3	65	85	46	70	47	72	40	74	49	75	58	77	53	76	54	75	53	75
n	SO4/2	6	8	13	7	11	4	8	6	10	7	10	7	10	7	10	9	12	8
i	PO4/3	7	9	11	17	11	18	10	18	10	15	10	13	9	14	10	15	10	15
o	Cl	22	35	35	46	35	46	35	55	26	31	35	33	33	31	31	36	37	37
b																			
c	K	31	31	38	38	38	39	35	36	36	36	50	51	33	33	31	31	36	37
a	Ca/2	42	43	41	42	37	37	44	44	41	42	31	31	48	49	28	28	39	39
t	Mg/2	25	26	20	20	24	24	20	20	22	22	16	18	16	18	40	41	22	24
i	Na	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	2	2
g	A/C	0,94	0,75	1,10	0,72	1,07	0,71	1,20	0,65	1,07	0,71	1,01	0,77	1,07	0,75	1,02	0,74	1,11	0,82
dans la 19° eau																			
des 16 traitements de type																			
a	NO3	60	76	48	64	48	64	44	66	51	69	54	70	54	70	56	71	55	70
n	SO4/2	6	8	9	12	8	10	6	9	7	9	7	9	7	9	7	10	7	9
i	PO4/3	13	16	18	24	20	26	16	25	16	22	15	21	16	21	15	20	15	20
o	Cl	21	25			24		34		26		24		23		22		23	
b																			
c	K	51	54	52	54	53	55	51	52	51	54	64	67	51	54	48	51	55	54
a	Ca/2	26	28	30	30	29	26	30	32	28	29	19	20	31	32	15	16	25	27
t	Mg/2	17	18	16	16	18	19	16	17	17	13	13	13	14	32	33	16	18	19
i	Na	6	2	2	4	3	4	5	5	5	5	5	5	5	5	7	5	5	5
g	A/C	1,33	1,12	1,13	0,87	1,09	0,85	1,22	0,83	1,29	0,96	1,25	1,01	1,26	1,04	1,34	1,10	1,26	1,03

Sans reprendre ici le détail des conditions d'expérience exposées ailleurs (loc. cit.), rappelons la composition ionique des solutions nutritives établies à partir d'acides et de bases et caractérisées par un rapport anions/cations (A/C) de 1,1.

Numéros et symboles des traitements		Proportions centésimales des constituants (en équivalents chimiques au sein de leur total respectif)							
		anions				cations			
		NO ₃	SO ₄ /2	PO ₄ /3	Cl	K	Ca/2	Mg/2	Na
1	N	55	15	15	15	25	35	25	15
2	S	15	55	15	15	25	35	25	15
3	P	15	15	55	15	25	35	25	15
4	Cl	15	15	15	55	25	35	25	15
5	K	30	25	30	15	55	15	15	15
6	Ca	30	25	30	15	15	55	15	15
7	Mg	30	25	30	15	15	15	55	15
8	Na	30	25	30	15	15	15	15	55

Dose par 2 plantes au renouvellement : 209 milliéquivalents négatifs
101 " positifs
dans 8 litres d'eau distillée

EXAMEN ET DISCUSSION DES RÉSULTATS

A. LES TENEURS PROPREMENT DITES (exprimées en milliéquivalents-grammes pour cent grammes de matière végétale fraîche ou sèche).

a. *Eléments du groupe anionique.*

1. *L'azote.*

Sur sec, les teneurs varient dans la feuille entre 163 et 250, avec une moyenne de 203. Sur frais, ces variations s'échelonnent entre 15 et 24, avec une moyenne de 18. Dans la tige, les teneurs sont respectivement comprises entre 87 et 160, moyenne 122 (sur sec) et entre 14 et 20, moyenne 18 (sur frais).

La feuille manifeste donc une plus haute teneur en azote que la tige sur matière sèche. Sur matière fraîche, cette différence s'atténue fortement.

Par rapport à l'ensemble des groupements dosés, l'azote représente de 22 à 32 % dans la feuille, de 24 à 34 % dans la tige.

2. *Le soufre.*

Sur sec, les teneurs varient dans la feuille entre 18 et 38, moyenne 28, et sur frais, entre 1,6 et 3,4 moyenne 2,5.

Dans la tige, les teneurs sont respectivement comprises entre 13 et 19, moyenne 16 (sur sec) et entre 2,0 et 2,8, moyenne 2,4 (sur frais).

Comme pour l'azote, les teneurs sont plus élevées dans la feuille que dans la tige, surtout sur matière sèche.

Par rapport à l'ensemble des groupements dosés, le soufre représente de 3,3 à 4,8 % dans la feuille et de 2,3 à 4,4 % dans la tige.

3. Le phosphore.

Sur matière sèche, les teneurs s'échelonnent dans la feuille entre 26 et 44, moyenne 39 et sur frais, entre 2,5 et 3,9 ; moyenne 3,5. Dans la tige, ces valeurs sont, sur sec, de 34 à 40, moyenne 36 et, sur frais, de 4,2 à 6,0, moyenne 5,4. Les différences entre feuille et tige sont faibles et, sur matière fraîche, légèrement en faveur des tiges.

Par rapport à l'ensemble des groupements dosés, le phosphore représente de 9,0 à 10,2 % dans la feuille et 3,3 à 5,9 % dans la tige.

Cet élément semble plus variable, par rapport à l'ensemble, dans la tige que dans la feuille.

4. Le chlore.

Sur sec, les teneurs dans la feuille varient entre 85 et 202, moyenne 122. Sur frais, les valeurs sont comprises entre 8 et 18 (moyenne 11).

Dans la tige, ces teneurs sont respectivement comprises entre 44 et 74, moyenne 56 (sur sec) et entre 7,0 et 11,5 ; moyenne 8,3 (sur frais).

Dans les feuilles, ce sont les plus fortes teneurs après celles de l'azote. La différence entre feuille et tige (en faveur de la première) est beaucoup plus marquée que précédemment, même sur la matière fraîche. L'ion chlore s'accumule visiblement davantage dans la feuille.

Par rapport à l'ensemble des groupements dosés, les chlore représente de 12 à 19 % dans la feuille et de 11 à 25 % dans la tige.

5. Le total des éléments « anioniques ».

Ce total varie dans la feuille, entre 350 et 437, moyenne 391 (sur sec) et entre 32 et 39, moyenne 36 (sur frais). Dans la tige, ces valeurs sont respectivement de 182 à 265, moyenne 230 (sur sec) et de 29 à 38, moyenne 34 (sur frais).

Au total, la feuille est donc plus riche en éléments « anioniques » que la tige, tout au moins sur matière sèche. Sur la matière fraîche, la différence est négligeable.

Etant donné la différence de rôle physiologique du Cl par rapport aux autres éléments, il est intéressant de formuler aussi les totaux en excluant le chlore. On obtient alors les valeurs suivantes. Dans la feuille, de 227 à 311, moyenne 269 (sur sec) et de 21 à 28, moyenne 24 (sur frais). Dans la tige, de 137 à 209, moyenne 173 (sur sec) et de 22 à 30, moyenne 25,5 (sur frais). L'exclusion du chlore de ce total n'en réduit donc pas la variabilité.

Par rapport à l'ensemble des groupements dosés, le total des groupements anioniques représente de 48,6 à 54,5 % avec une moyenne de 51,5 dans la feuille et de 52,2 à 57,2 % avec une moyenne de 55,3 dans la tige.

b. *Eléments du groupe cationique.*

I. Le potassium.

Sur matière sèche, les teneurs s'échelonnent dans la feuille entre 114 et 188, moyenne 134. Sur frais, ces valeurs sont de 10,4 à 15,7, moyenne 12,1.

Dans la tige, les teneurs varient respectivement entre 91 et 134, moyenne 99 (sur sec) et entre 12,8 et 17,4 moyenne 14,0 (sur frais).

Sur matière sèche, la feuille accuse donc une teneur en potassium plus élevée que la tige et, sur matière fraîche, la situation est inverse.

Par rapport à l'ensemble des groupements dosés, le potassium représente de 15 à 25 % dans la feuille et de 22 à 29 % dans la tige.

2. Le calcium.

Les teneurs varient dans la feuille entre 104 et 182, moyenne 143 (sur sec) et entre 9,5 et 16,7, moyenne 13,0 (sur frais). Dans la tige, ces valeurs sont respectivement de 29 à 56, moyenne 47 (sur sec) et de 4,6 à 9,4, moyenne 6,9 (sur frais).

Les teneurs sont toujours plus élevées dans la feuille, aussi bien sur frais que sur sec.

En pour-cent du total des groupements dosés, le calcium représente de 14 à 23, dans la feuille, et de 7 à 14, dans la tige. La situation est donc inverse de celle que présente le potassium.

3. Le magnésium.

Les teneurs varient dans la feuille de 67 à 151, moyenne 87 (sur sec) et de 6,2 à 13,8, moyenne 7,9 (sur frais). Dans la tige, ces valeurs sont de 24 à 61, moyenne 33 (sur sec) et de 3,5 à 9,7 moyenne 4,9 (sur frais). Les différences entre feuille et tige sont dans le même sens que pour le calcium.

En pour-cent du total des groupements dosés, le magnésium représente de 9 à 20, dans la feuille, et de 6 à 14, dans la tige. A ce point de vue également, la situation est la même que pour le calcium.

4. Le sodium.

Les teneurs varient dans la feuille de 2,5 à 10,4, avec une moyenne de 5,0 (sur sec) et de 0,2 à 0,9, moyenne 0,5 (sur frais). Dans la tige, ces valeurs sont de 4,0 à 13,0, moyenne 8,5 (sur sec) et de 0,6 à 1,7, moyenne 1,2 (sur frais). La tige est ici plus riche que la feuille.

Par rapport à l'ensemble des groupements dosés, le sodium représente de 0,4 à 1,3 % dans la feuille et de 1,1 à 2,9 % dans la tige.

5. Le total des éléments « cationiques ».

Ce total varie, dans la feuille, entre 326 et 407, moyenne 369 (sur sec) et entre 30 et 38, moyenne 34 (sur frais).

Dans la tige, ces valeurs sont respectivement de 166 à 211, moyenne 186 (sur sec) et 25 à 31, moyenne 28 (sur frais).

La feuille est donc plus riche que la tige en éléments « cationiques ».

Par rapport à l'ensemble des groupements dosés, les valeurs relatives sont évidemment les compléments à 100 des valeurs données pour les éléments « anioniques », soit de 45,5 à 51,4 moyenne 48,5 (dans la feuille) et de 42,8 à 47,8, moyenne 44,7 (dans la tige).

c. *L'ensemble des groupements chimiques dosés.*

Les groupements étant exprimés en équivalents positifs ou négatifs, l'ensemble traduit la minéralisation des tissus exprimée en équivalents salins, mais il ne faut pas perdre de vue que l'azote et le phosphore principalement pouvaient se trouver dans la plante vivante sous forme organique. L'expression « total » est donc conventionnelle, comme l'est d'ailleurs dans le mode d'expression plus classique, le total de cendres.

Cette valeur a cependant un intérêt en ce qu'elle groupe pratiquement tous les constituants absorbés du sol, à l'exclusion des matières photosynthétisées. C'est pour cette raison qu'il nous paraît utile de la formuler.

Ce total, toujours sur la même base (équivalents), varie de 676 à 802 (moyenne 760), sur matière sèche, et de 62 à 75 (moyenne 69), sur matière fraîche, dans la feuille. Dans la tige, ces valeurs sont de 348 à 464 (moyenne 417) sur sec et de 56 à 69 (moyenne 62) sur frais. La différence entre feuille et tige est donc très marquée sur matière sèche, ce qui traduit l'abondance de la cellulose (etc.) dans la tige. Cette différence s'atténue très fortement sur matière fraîche, l'hydratation plus forte des feuilles compensant la plus grande proportion de cellulose (etc.) des tiges.

B. VARIATION DES TENEURS ET DES PROPORTIONS DES ÉLÉMENTS DANS LA PLANTE EN FONCTION DE LA COMPOSITION DU MILIEU NUTRITIF.

L'étude de ces variations est très complexe. Pour y mettre de l'ordre, on peut en premier lieu étudier la variation de chaque corps dans la plante en fonction de la concentration du même corps dans le milieu nutritif. Ensuite, des relations moins directes peuvent être étudiées.

a. *Variation de chaque élément dans la plante en fonction de sa propre concentration dans le milieu nutritif.*

Les traitements appliqués peuvent être, pour chaque élément envisagé, répartis en groupes où cet élément se trouve à une même concentration. Les données relatives à cette étude figurent dans les tableaux suivants où sont utilisés les abréviations et symboles qui suivent :

Groupe : ensemble des traitements à même concentration équivalente dans un élément dans la solution nutritive.

C. ex. : concentration dans la solution extérieure, en milliéquivalents-grammes par litre de solution, lors du renouvellement.

T. p. s. : teneur dans la plante en milliéquivalents-grammes pour cent grammes de matière sèche.

T. p. f. : teneur dans la plante en milliéquivalents-grammes pour cent grammes de matière fraîche.

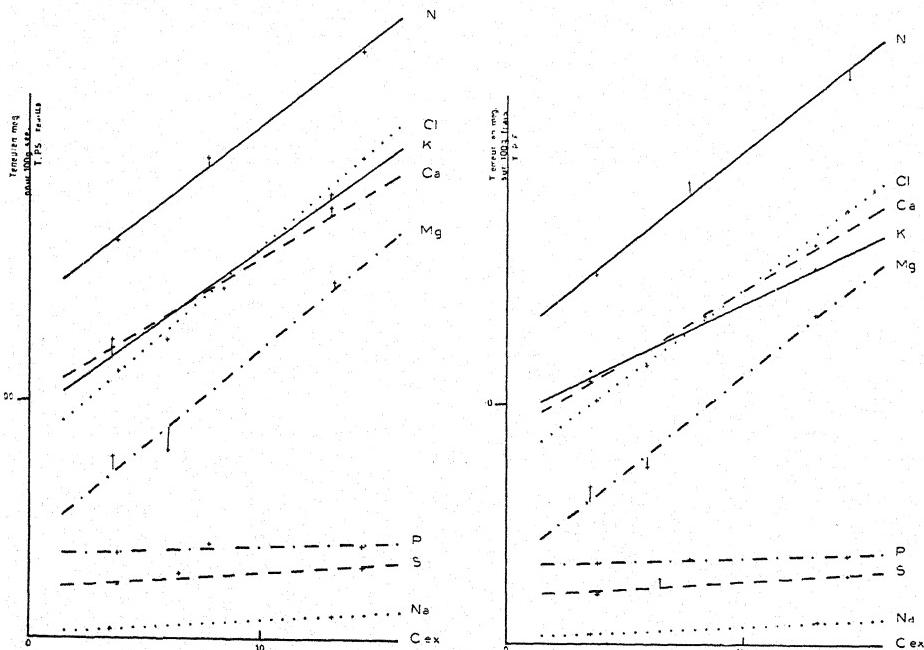
% Σ : proportion centésimale de l'élément étudié au sein du total des éléments du même groupe ionique (en milliéquivalents-grammes). Dans le texte, ce rapport pour un élément est mentionné sous le terme teneur

relative alors que les teneurs T. p. s. et T. p. f. sont appelées teneurs absolues.

% Tot : proportion centésimale de l'élément étudié au sein du total des ions dosés.

Quoique les compléments ioniques de ces groupes ne soient pas identiques, nous avons appliquée la méthode de régression linéaire signalée pour les cations dans un travail précédent (1) et l'avons étendue aux anions en notant, toutefois, que la régression linéaire est beaucoup moins certaine dans ce cas. Cependant, l'examen des graphiques 1 et 2 montre que dans la zone des concentrations étudiées, la régression linéaire peut être appliquée, mais ici, et surtout pour les anions, l'extrapolation à zéro ne peut être faite sans danger (2).

Pour chacun des éléments, les droites de régression sont signalées dans les tableaux par D. s. et D. f. ; dans ces équations, y représente la teneur



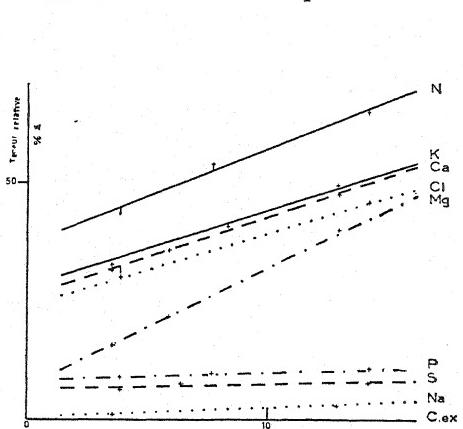
GRAPHIQUE 1. 19^e feuille. Teneurs, en milliéquivalents-grammes pour cent grammes de matière sèche, en fonction de la concentration de la solution nutritive.

GRAPHIQUE 2. 19^e feuille. Teneurs, en milliéquivalents-grammes pour cent grammes de matière fraîche, en fonction de la concentration de la solution nutritive.

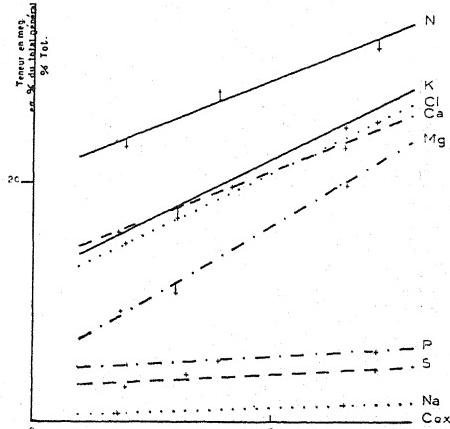
(1) G. H. J. Van Schoor. — « Action du milieu sur la composition cationique de *Zebrina pendula* Schnitzl » (*Bulletin de la classe des Sciences*, 5^e série, tome XL, 1954).

(2) G. H. J. Van Schoor. — Détermination approchée de la richesse utile cationique d'un substrat de culture (*Annales de physiologie végétale de l'Université de Bruxelles*, n° 3, 1956).

en un élément exprimée en milliéquivalents-grammes sur cent grammes de matière végétale sèche (D. s.) ou fraîche (D. f.) et α la concentration signalée dans les tableaux par C. ex.

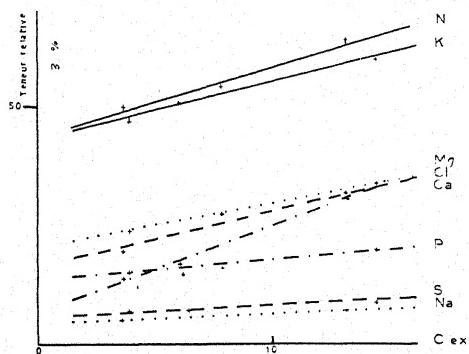


GRAPHIQUE 3. 19^e feuille. Teneurs, exprimées en pour cent du total des groupements dosés de même signe, en fonction de la concentration de la solution nutritive.

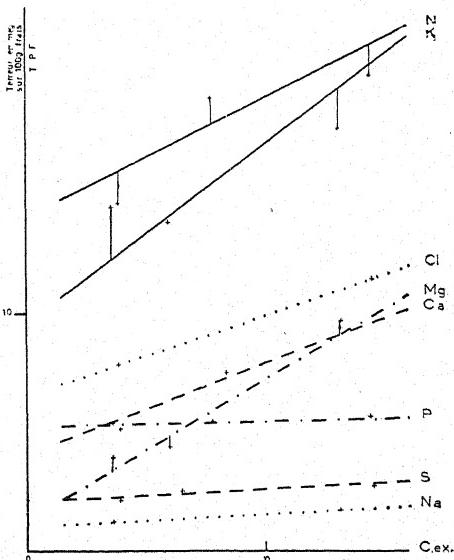


GRAPHIQUE 4. 19^e feuille. Teneurs, exprimées en pour cent du total général des groupements dosés en fonction de la concentration de la solution nutritive.

D. r. et D. t. représentent dans les tableaux, les droites de régression établies, non plus sur les teneurs absolues, mais sur les teneurs relatives : D. r. sur les proportions centésimales des totaux anioniques, ou cationiques, D. t. sur les proportions centésimales du total général ; y représente dans ces cas, le pourcentage de l'élément sur le total considéré



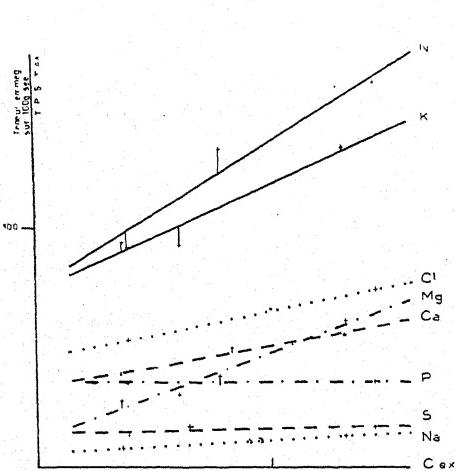
GRAPHIQUE 5. Fragment de tige. Teneurs, en milliéquivalents-grammes pour cent grammes de matière sèche, en fonction de la concentration de la solution nutritive.



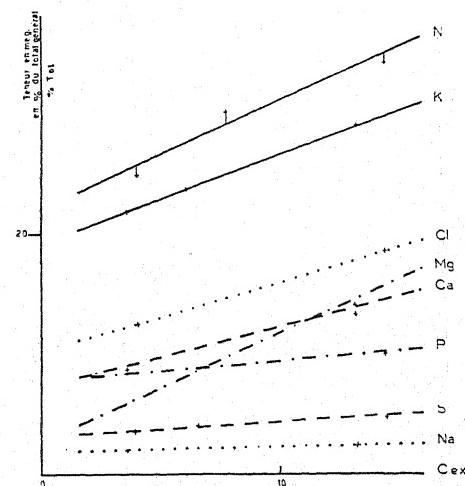
GRAPHIQUE 6. Fragment de tige. Teneurs, en milliéquivalents-grammes pour cent grammes de matière fraîche, en fonction de la concentration de la solution nutritive.

et x la concentration C. ex. dans la solution nutritive (concentration et pourcentage, dans la solution nutritive, sont proportionnels, la concentration totale étant uniforme).

Les droites D. s., D. f., D. r., D. t., sont représentées aux graphiques 1 à 8.



GRAPHIQUE 7. *Fragment de tige*. Teneurs exprimées en pour cent du total des groupements dosés de même signe, en fonction de la concentration de la solution nutritive.



GRAPHIQUE 8. *Fragment de tige*. Teneurs exprimées en pour cent du total général des groupements dosés, en fonction de la concentration de la solution nutritive.

I. L'azote.

Les données résumées figurent au tableau suivant :

Organes	19 ^e feuille			Fragment de tige		
Groupe	1	2	3	1	2	3
C. ex.	14,4	7,8	3,9	14,4	7,8	3,9
T. p. s.	249,4	216,5	168,3	159,6	132,6	92,4
D. s.	$y = 7,4x + 146,8$			$y = 6,2x + 74,5$		
σ	$1,9$	$14,7$		$1,62$	$14,2$	
T. p. f.	23,6	19,3	15,4	20,1	19,0	14,6
D. f.	$y = 0,8x + 13,7$			$y = 0,5x + 14,0$		
σ	$0,1$	$0,8$		$0,21$	$2,1$	
% Σ	65	54	44	60	54	47
D. r.	$y = 2,0x + 37,0$			$y = 1,2x + 40,8$		
σ	$0,2$	$2,1$		$0,2$	$2,0$	
% Tot.	31,5	27,8	23,2	34,4	30,2	24,9
D. t.	$y = 0,8x + 20,8$			$y = 0,9x + 22,2$		
σ	$0,2$	$1,6$		$0,2$	$1,7$	

L'influence de la concentration en azote de la solution nutritive sur la teneur ou la proportion de cet élément dans la plante est exprimée par les droites de régression. On voit ainsi que cette influence est très marquée, et parfaitement significative. Elle est proportionnellement plus forte dans la tige que dans la feuille. En effet, sur sec par exemple, quand la teneur dans la feuille est multipliée par 1,48 sous l'effet des traitements, elle est multipliée par 1,73 dans la tige (groupe 1 et 3 comparés entre eux).

En ce qui concerne la proportion de l'élément sur l'ensemble des groupements dosés, feuille et tige ne manifestent guère de différence.

2. *Le soufre.*

Les données figurent au tableau suivant :

Organes	19 ^e feuille			Fragment de tige		
	1	2	3	1	2	3
Groupe						
C. ex.	14,4	6,5	3,9	14,4	6,5	3,9
T. p. s.	30,8	30,7	22,2	17,7	17,1	14,4
D. s.	$y = 0,56x + 23,3$ $0,32$ $2,9$			$y = 0,26x + 14,3$ $0,18$ $1,6$		
σ						
T. p. f.	2,90	2,72	2,04	2,80	2,52	2,10
D. f.	$y = 0,07x + 2,0$ $0,05$ $0,4$			$y = 0,06x + 2,0$ $0,02$ $0,2$		
σ						
% Σ	8,0	8,0	6,5	9,0	7,0	6,6
D. r.	$y = 0,07x + 6,9$ $0,17$ $1,7$			$y = 0,24x + 5,6$ $0,02$ $0,2$		
σ						
% Tot.	4,4	3,9	3,0	4,8	3,9	3,6
D. t.	$y = 0,12x + 2,8$ $0,06$ $0,5$			$y = 0,11x + 3,2$ $0,01$ $0,1$		
σ						

La pente des droites de régression est beaucoup plus faible que pour l'azote. La teneur ou la proportion de soufre dans la plante n'est donc que fort peu influencée par la concentration extérieure. Les teneurs exprimées sur matière fraîche, dans la feuille et dans la tige ont des coefficients de régression presque nuls et d'ailleurs peu significatifs. Pour ces raisons, les différences entre tige et feuille sont peu marquées. Peut-être la validité de la relation est-elle légèrement plus grande dans la tige, surtout en ce qui concerne les proportions et non des teneurs absolues.

3. *Le phosphore.*

Les données figurent au tableau suivant :

Organes	19 ^e feuille			Fragment de tige		
	1	2	3	1	2	3
Groupe						
C. ex.	14,4	7,8	3,9	14,4	7,8	3,9
T. p. s.	39,9	40,0	36,2	35,5	37,7	34,9
D. s.	$y = 0,31x + 36,0$			$y = 0,02x + 35,8$		
σ	$0,26$	$2,3$		$0,26$	$2,4$	
T. p. f.	3,65	3,56	3,35	5,74	5,54	5,12
D. f.	$y = 0,04x + 3,2$			$y = 0,06x + 5,0$		
σ	$0,01$	$0,05$		$0,02$	$0,2$	
% Σ	11	10	9	20,0	16,2	15,7
D. r.	$y = 0,19x + 8,3$			$y = 0,45x + 13,4$		
σ	$0,02$	$0,3$		$0,12$	$1,1$	
% Tot.	5,9	5,1	4,8	10,2	8,6	8,5
D. t.	$y = 0,11x + 4,4$			$y = 0,17x + 7,6$		
σ	$0,02$	$0,2$		$0,05$	$0,5$	

La teneur en phosphore de la plante n'est pratiquement pas influencée par la concentration de ce corps dans le milieu nutritif ; les coefficients de régression sont faibles et très peu significatifs. Feuille et tige se comportent, à cet égard, de la même façon.

4. *Le chlore.*

Les données figurent au tableau suivant :

Organes	19 ^e feuille		Fragment de tige	
	1	2	1	2
Groupe.....				
C. ex.	14,4	3,9	14,4	3,9
T. p. s.	202,7	112,6	74,0	53,2
D. s.	$y = 8,6x + 79,1$		$y = 2,0x + 45,4$	
T. p. f.	18,1	10,2	11,5	7,8
D. f.	$y = 0,7x + 7,3$		$y = 0,4x + 6,4$	
% Σ	46	30	34	24
D. r.	$y = 1,5x + 24,1$		$y = 1,0x + 21,3$	
% Tot.	25,3	15,1	18,6	12,6
D. t.	$y = 1,0x + 11,3$		$y = 0,6x + 10,4$	

Non seulement la teneur de la plante en chlore peut en certains cas dépasser la teneur en azote, mais encore cette teneur est-elle fortement influencée par la concentration de l'élément dans le milieu nutritif. Le coefficient de la droite de régression est naturellement beaucoup plus élevé lorsque les teneurs sont exprimées sur matières sèche mais, de toute façon, l'influence du milieu extérieur se marque beaucoup plus sur la feuille que sur la tige. En résumé, l'ion chlore s'accumule dans la plante, et surtout dans la feuille, dans la mesure où il est présent dans le milieu extérieur. Comme cet élément ne participe guère aux synthèses organiques, il peut donc être responsable d'une forte minéralisation.

Il faut noter ici que les coefficients de régression n'ont qu'une valeur indicative, la nature linéaire de la régression ne pouvant être établie puisqu'il n'y a que deux groupes de traitement. Néanmoins, ils permettent de comparer le degré d'action de la concentration extérieure et justifient donc la conclusion précédente.

5. *Le potassium.*

Les données figurent au tableau suivant :

Organes	19 ^e feuille			Fragment de tige		
	1	2	3	1	2	3
Groupe						
C. ex.	13,1	6,0	3,6	13,1	6,0	3,6
T. p. s.	188,0	126,8	125,5	134,4	93,3	94,1
D. s.	$y = 7,0x + 93,8$			$y = 4,6x + 72,5$		
σ	$1,92 \quad 16,0$			$1,30 \quad 10,0$		
T. p. f.	15,7	11,7	11,4	17,4	13,9	14,4
D. f.	$y = 0,5x + 9,3$			$y = 0,4x + 12,6$		
σ	$0,16 \quad 1,3$			$0,15 \quad 1,2$		
% Σ	50	36	33	64	51	50
D. r.	$y = 1,8x + 25,8$			$y = 1,5x + 43,2$		
σ	$0,16 \quad 1,3$			$0,29 \quad 2,4$		
% Tot.	24,7	17,2	15,9	28,9	23,7	21,9
D. t.	$y = 1,0x + 12,1$			$y = 0,7x + 19,3$		
σ	$0,10 \quad 0,1$			$0,01 \quad 0,1$		

La teneur en potassium dans la plante, sur matière sèche, qui atteint les plus hautes valeurs après l'azote, est fortement influencée par la concentration du milieu nutritif en potassium. La feuille répond un peu plus fort à cette influence que la tige (teneur multipliée par 1,50 dans la feuille quand elle l'est par 1,43 dans la tige — comparaison des groupes 1 et 3—). Exprimée sur matière fraîche, la teneur est beaucoup moins variable. La proportion de cet élément devant le total des autres est également influencée dans le même sens, surtout par rapport au total des cations.

6. Le calcium.

Les données figurent au tableau suivant :

Organes	19 ^e feuille			Fragment de tige		
	1	2	3	1	2	3
Groupe						
C. ex.	13,1	8,4	3,6	13,1	8,4	3,6
T. p. s.	182,0	147,5	124,7	55,8	49,9	39,0
D. s.	$y = 6,0x + 101,2$			$y = 1,8x + 33,4$		
σ	$0,89$	$6,9$		$0,30$	$2,4$	
T. p. f.	16,7	13,8	11,0	9,4	7,5	5,4
D. f.	$y = 0,6x + 8,8$			$y = 0,4x + 3,9$		
σ	$0,07$	$0,5$		$0,06$	$0,5$	
% Σ	48	41	32	31	28	20
D. r.	$y = 1,7x + 26,1$			$y = 1,2x + 16,6$		
σ	$0,11$	$0,9$		$0,30$	$2,4$	
% Tot.	23,2	19,8	15,9	13,4	12,7	8,7
D. t.	$y = 0,8x + 13,2$			$y = 0,5x + 7,4$		
σ	$0,08$	$0,6$		$0,09$	$1,5$	

Le calcium de la plante répond à la concentration de cet élément dans le milieu nutritif à peu près comme le potassium. Mais la différence entre feuille et tige, dans la réaction à cette influence, est très faible (teneur multipliée par 1,46 dans la feuille quand elle l'est par 1,43 dans la tige — comparaison entre les groupes 1 et 3 —).

7. Le magnésium.

Les données figurent au tableau suivant :

Organes	19 ^e feuille			Fragment de tige		
	1	2	3	1	2	3
Groupe						
C. ex.	13,1	6,0	3,6	13,1	6,0	3,6
T. p. s.	151,3	80,2	77,0	60,5	29,6	27,3
D. s.	$y = 8,3x + 40,0$			$y = 3,7x + 11,2$		
σ	$1,73$	$12,2$		$0,71$	$5,5$	
T. p. f.	13,8	7,4	6,5	9,7	4,4	3,9
D. f.	$y = 0,8x + 3,2$			$y = 0,6x + 1,2$		
σ	$0,10$	$0,9$		$0,14$	$1,1$	
% Σ	40	22	16	32	17	14
D. r.	$y = 2,5x + 6,8$			$y = 1,9x + 6,3$		
σ	$0,32$	$0,2$		$0,43$	$3,5$	
% Tot.	20,0	10,8	9,3	14,1	7,6	6,2
D. t.	$y = 1,2x + 4,6$			$y = 0,9x + 2,8$		
σ	$0,16$	$1,3$		$0,12$	$0,9$	

L'influence de la concentration extérieure en magnésium se marque sur la teneur de la plante en cet élément comme pour les cations précédents ; coefficient de régression élevé et valable, plus élevé dans l'expression sur matière sèche que sur matière fraîche, bien qu'encore significatif dans ce cas. La variation est un peu plus forte (multipliée par 2,22) dans la tige que dans la feuille (multipliée par 1,97). Ceci résulte encore de la comparaison des groupes 1 et 3.

8. Le sodium.

Les données figurent au tableau suivant :

Organes	19 ^e feuille		Fragment de tige	
Groupe	1	2	1	2
C. ex.	13,1	3,6	13,1	3,6
T. p. s.	10,4	4,3	13,0	7,9
D. s.	$y = 0,6x + 2,0$		$y = 0,5x + 6,1$	
D. p. f.	0,9	0,4	1,7	1,2
D. f.	$y = 0,05x + 0,25$		$y = 0,05x + 1,00$	
% Σ	3	1	7	5
D. r.	$y = 0,2x + 0,3$		$y = 0,2x + 4,3$	
% Tot.	1,3	0,6	2,9	2,0
D. t.	$y = 0,07x + 0,4$		$y = 0,07x + 1,7$	

Toutes les pentes des droites de régression sont ici très faibles. La signification ne peut être établie mais il est certain que l'on peut conclure à une influence très faible.

Le sodium ne s'accumule donc certainement guère et en conséquence, même lorsque cet élément domine sur les autres cations dans la solution nutritive (traitement Na, 55 % de sodium sur le total des cations), la concentration dans la plante ne s'élève pas fortement. Il est probable qu'en principe, cet élément se comporte comme les autres cations mais avec une valeur beaucoup plus basse du rapport d'accumulation.

C. VARIATIONS DE CHAQUE ÉLÉMENT EN FONCTION DES AUTRES ÉLÉMENTS PRÉSENTS DANS LE MILIEU EXTÉRIEUR.

i. L'azote.

A l'intérieur d'un groupe de traitements où l'azote se trouve à même concentration, les plantes manifestent cependant des différences.

Groupe 3 (traitements SO₄ — PO₄ — Cl). La concentration extérieure est partout 3,9. La teneur interne, sur sec, varie de 163 à 173 dans la feuille

et de 87 à 96 dans la tige. Dans les deux cas, la valeur la plus basse se trouve là où le phosphore domine et la plus haute là où le chlore domine.

Groupe 2 (traitements K — Ca — Mg — Na). La concentration extérieure est de 7,8 ; la teneur sur sec varie dans la feuille de 205 à 229 et dans la tige de 123 à 137. Dans les deux cas, la teneur la plus haute se trouve là où le sodium domine, (valeur très proche de celle qui existe là où le potassium domine) et la plus basse là où le calcium domine.

En résumé, indépendamment de l'effet de sa propre concentration dans le milieu nutritif, l'azote est plus abondant dans la plante là où domine, dans le milieu nutritif le sodium ou le potassium d'une part, le chlore de l'autre.

Enfin, alors que l'azote est le corps dont la teneur est la plus influencée par sa propre concentration dans le milieu nutritif, c'est au contraire celui dont la teneur est la moins influencée par les autres variations de ce milieu.

2. *Le soufre.*

Groupe 2 (traitement K — Ca — Mg — Na). Concentration uniforme de SO_4 dans le milieu nutritif : 6,5. La teneur dans la feuille est très uniforme (28) dans les traitements K — Ca — Mg. Elle est de 38 dans le traitement Na. Dans les tiges, les différences sont au contraire peu marquées bien que la teneur la plus haute se retrouve aussi dans les traitements Na.

Groupe 3 (traitements NO_3 — PO_4 — Cl). Concentration extérieure 3,9. Les traitements à dominance P ou N marquent dans la feuille une teneur légèrement plus élevée que le traitement Cl. Dans la tige, c'est le traitement N qui produit la teneur la plus élevée.

En résumé, la teneur en soufre est accentuée lorsque le milieu extérieur est riche en azote ou en sodium, indépendamment de l'apport du soufre lui-même.

L'élévation en rapport avec l'azote traduit sans doute, une plus grande synthèse de protéines. L'élévation en rapport avec le sodium traduit sans doute une simple accumulation saline.

Le soufre est, de toute façon, un élément peu variable dans la plante.

3. *Le phosphore.*

Groupe 2 (traitements K — Ca — Mg — Na). Concentration extérieure uniforme en PO_4 : 7,8.

Les variations de teneur interne sont très faibles : un léger avantage se marque dans la feuille uniquement pour le traitement Na.

Groupe 3 (traitements NO_3 — SO_4 — Cl). Concentration extérieure uniforme en PO_4 : 3,9.

Dans la tige, les différences sont négligeables. Dans la feuille, le seul fait à signaler est la teneur plus basse dans le traitement NO_3 . (C'est le traitement où la teneur en phosphore dans la feuille est minimum).

Cette dernière constatation pourrait exprimer une plus grande possibilité de substitution entre NO_3 et PO_4 que entre PO_4 et SO_4 ou Cl. La

relation avec la concentration du milieu en sodium traduit sans doute une simple accumulation saline.

4. Le chlore.

Groupe 2 (tous les traitements sauf traitement Cl). Concentration extérieure uniforme : 3,9.

Les teneurs internes sont très variables. Dans la feuille, elles s'étendent de 85 à 129, dans la tige, de 44 à 61 (sur sec).

En particulier dans la feuille, la teneur en Cl est la plus basse si l'azote ou le potassium dominent dans le milieu. Cela traduit peut-être la plus grande élaboration de matière sèche dans le traitement NO_3 . Dans le traitement K, qui est aussi un traitement favorable, l'explication est peut-être partiellement la même mais, en outre, il semble que le potassium excédentaire ne s'accumule guère sous forme de chlorure.

Les autres variations de la teneur en Cl sont assez faibles.

5. Somme des éléments « anioniques ».

Tous les traitements sont à même concentration globale extérieure. Les différences observées dans la teneur interne des feuilles, et déjà signalées, traduisent surtout une élévation là où le sodium ou le chlore dominant. Cela exprime une accumulation passive du chlorure de sodium, mais comme le sodium lui-même s'accumule fort peu, cela exprime aussi le fait qu'un excès de Cl dans le milieu extérieur peut conduire à une entrée de ce même corps dans la plante grâce à l'entrée concomitante d'autres cations.

Les différences, de même sens, sont un peu plus marquées dans les tiges.

6. Le potassium.

Groupe 2 (traitements NO_3 — SO_4 — PO_4 — Cl). Concentration extérieure en K : 6,0.

Les différences sont négligeables dans la feuille, et un peu plus fortes dans la tige. La teneur la plus haute se trouve là où le sodium domine. D'une façon générale, les différences entre teneurs en potassium suivant les traitements sont les plus faibles de toutes les différences observées dans les teneurs en cations (indépendamment de l'action du potassium lui-même qui est au contraire importante).

Groupe 3 (traitements Ca — Mg — Na). Concentration extérieure en potassium : 3,6.

La teneur en potassium sur matière sèche tant dans la feuille que dans la tige est la plus haute là où le sodium domine et la plus basse là où le magnésium domine. Ces différences sont toutefois peu élevées.

7. Le calcium.

Groupe 2 (traitements NO_3 — SO_4 — PO_4 — Cl). Concentration extérieure en calcium : 8,4.

Les teneurs internes, tant dans la feuille que dans la tige, sont plus basses là où le phosphore domine. Ceci traduit vraisemblablement une moindre accessibilité du calcium dans ces conditions. En outre, dans la feuille seulement, la teneur en calcium est beaucoup plus élevé là où l'azote domine dans le milieu nutritif, et cela peut être dû à une maturité plus rapidement atteinte pour la feuille dans ces conditions (les courbes de développement montrent, en effet, une avance pour les plantes soumises à ce traitement).

Groupe 3 (traitements K — Mg — Na). Concentration extérieure en calcium : 3,6.

Tant dans la tige que dans la feuille, les teneurs sont plus hautes dans le traitement Na et plus basses dans le traitement Mg. Ce dernier point traduit sans doute l'antagonisme calcium-magnésium dans la pénétration des ions ainsi que l'action favorable du magnésium sur l'assimilation du phosphore. L'action favorable du sodium comparé au potassium est certaine mais moins explicable.

8. *Le magnésium.*

Groupe 2 (traitements NO_3 — PO_4 — SO_4 — Cl). Concentration extérieure en magnésium : 6,0.

Un seul fait saillant : l'accumulation beaucoup plus grande dans les traitements où l'azote domine.

Groupe 3 (traitements K — Ca — Na). Concentration extérieure en magnésium : 3,6. La teneur la plus haute s'observe là où le sodium domine et la plus basse là où le calcium domine. Ce dernier point peut s'interpréter comme dans le cas du calcium.

9. *Le sodium.*

Groupe 2 (tous les traitements sauf Na). Concentration extérieure en sodium : 3,6.

La teneur en sodium, tant dans la feuille que dans la tige est la plus élevée lorsque l'azote domine dans le milieu nutritif parmi les anions ou le potassium parmi les cations. La teneur est au contraire la plus basse dans le traitement SO_4 .

Il est aussi curieux, la concentration extérieure en sodium étant uniforme, que la teneur interne soit plus élevée dans les traitements où les variations portent sur les cations. Les déséquilibres cationiques seraient donc favorables à une pénétration supplémentaire de sodium.

10. *La somme des cations.*

La feuille et la tige ne se comportent pas de même. Le total des teneurs en cations est plus élevé dans le traitement NO_3 pour la feuille (sur sec et sur frais). Dans la tige, il est plus élevé pour les traitements NO_3 et K (sur sec) alors que le total exprimé sur matière fraîche est très bas dans ces mêmes cas. On doit voir dans ce fait, l'action indépendante de la composition du milieu extérieur sur l'entrée des ions et sur l'hydratation.

D. REMARQUES GÉNÉRALES SUR LES VARIATIONS DE LA COMPOSITION DE LA PLANTE EN FONCTION DE CELLE DU MILIEU NUTRITIF.

Nous insistons sur le fait que les remarques qui suivent ont été établies à somme constante des ions dans le milieu nutritif (exprimée en équivalents chimiques). Nous n'entendons pas les étendre, dès à présent, à d'autres conditions.

1. En ce qui concerne l'action de la concentration d'un corps dans le milieu nutritif sur la teneur de ce même corps dans la plante on peut faire les remarques suivantes :

— Les variations de teneur sur matière fraîche sont toujours beaucoup moins marquées que les variations des teneurs sur matière sèche.

— L'influence de ces variations est, en moyenne, proportionnellement égale dans la feuille et dans la tige.

— Parmi les éléments du groupe anionique réellement constructeurs (N, S, P), seul l'azote répond de façon importante aux variations extérieures, dans la feuille et dans la tige.

— La teneur en chlore répond aux variations extérieures au moins autant que la teneur en azote (tout au moins dans la feuille).

— Les éléments du groupe cationique répondent tous de façon nette aux variations extérieures. Si la variation de teneur du sodium est beaucoup moindre que les autres, elle semble répondre au même principe : les cations voient leur teneur nettement et directement affectée par leur concentration dans le milieu extérieur (voir G. Van Schoor (1)).

— Pour tous les éléments dont les variations de teneurs précitées sont nettes, c'est-à-dire N, Cl, K, Ca, Mg, les coefficients de régression, en ce qui concerne la feuille, sont extrêmement voisins les uns des autres. Il y a peut-être là l'indice d'une relation générale.

— La valeur plus élevée des coefficients de régression relatifs à la feuille (comparativement à la tige) traduit l'accumulation plus grande des substances d'origine minérale dans ces organes terminaux d'une part, et d'autre part, la moins grande accumulation définitive de substances élaborées telles que les hydrates de carbone qui, sous forme de cellulose, lignine, etc. s'accumulent au contraire fortement dans les tiges.

2. En ce qui concerne les variations de teneur en relation avec les variations de concentration d'autres éléments, on peut noter :

— Les éléments anioniques réellement constructeurs (N, S, P,) sont peu variables. La richesse du milieu en sodium élève cependant légèrement ces trois teneurs. A noter la baisse de teneur en phosphore dans le traitement où l'azote domine.

— L'ion chlore se comporte de façon totalement différente des trois

(1) G. VAN SCHOOR. — Action du milieu sur la composition cationique de *Zebrina pendula* Schnitzl (*Ac. Roy. Belg. Bull. cl. sc.*, 5^e S. XL, 1169, 1954).

corps précédents, sans doute en raison du fait qu'il n'appartient pas au groupe des constructeurs : il varie fortement et sa teneur baisse quand le milieu est riche en azote ou en potassium.

— Tous les cations voient leur teneur s'élever dans les traitements où l'azote domine (probablement en grande partie par la fixation de cations sur les protéines). Le potassium est le cation le moins influencé.

— La somme des teneurs en cations varie fort peu lorsque les proportions cationiques varient dans le milieu extérieur. Cela traduit les possibilités de substitution, ou bien la similitude des coefficients de régression (voir aussi G. Van Schoor, *loc. cit.*, sur Zébrina pendula).

— La variation moyenne des teneurs totales en anions sous l'effet des traitements se marque davantage dans les tiges que dans les feuilles.

3. Le rapport de la somme des anions à la somme des cations est très légèrement supérieur à l'unité dans la feuille. Une exception se marque dans le traitement NO_3 où il lui est légèrement inférieur (0,94). Dans le traitement Cl, il atteint sa plus forte valeur (1,20). La variabilité de ce rapport est donc très faible.

Dans la tige, les valeurs sont un peu plus fortes. Les valeurs les plus hautes, en opposition avec ce qui se passe dans la feuille, se marquent aux traitements NO_3 et Na. Le traitement Cl est ici un traitement moyen. Cela porte à croire à l'existence de compensations au sein du végétal, l'ensemble de celui-ci étant en équilibre avec le milieu extérieur.

4. Indépendamment des interprétations déjà formulées, les données établies permettent de tirer une conséquence générale sur l'accumulation des substances dans la plante. En effet, pour chaque substance, l'accumulation peut s'exprimer par le rapport de la teneur interne à la concentration dans le milieu nutritif, c'est-à-dire par le rapport $y : x$. Or, y répond toujours à une équation de la forme :

$$y = ax + b$$

d'où

$$\frac{y}{x} = a + \frac{b}{x}$$

On voit que le rapport d'accumulation est d'autant plus grand que la concentration extérieure est plus faible. Il est intéressant de retrouver, pour des organes de végétaux supérieurs, cette relation qui est bien connue au niveau des équilibres cellulaires.

Les données de nos tableaux permettent le calcul de la valeur de ces rapports d'accumulation.

5. L'étude du développement des plantes en fonction des traitements appliqués (*loc. cit.*) a permis, par application de la méthode des variantes systématiques, de déterminer la composition de la solution nutritive qui se montre optimum, par exemple, au point de vue des rendements pondéraux.

Une fois cette composition connue, l'application des équations établies dans le présent travail permet de calculer quelle serait la composition de la

feuille étudiée (19^e) et du fragment de tige d'une plante ayant crû dans ces conditions optima. C'est donc en quelque sorte, pour ces parties de plantes, la composition idéale et tout écart à cette composition révèle que les conditions d'alimentation sont susceptibles d'amélioration. Voici ces compositions optima en éléments majeurs :

Groupements dosés		NO ₃	SO ₄	PO ₄	K	Ca	Mg
19 ^e feuille	T. p. s.	251	26	28	154	154	109
	% Σ	82	9	9	37	37	26
	% Tot.	35	4	4	21	21	15
Tige	T. p. s.	83	16	36	112	50	42
	% Σ	62	12	26	55	25	20
	% Tot.	24	5	11	33	15	12

Composition minérale du cotonnier en fonction du milieu nutritif

par G. H. J. VAN SCHOOR

Chef de Travaux à l'Université de Bruxelles.

L'expérience dont il est traité dans cette note a été dirigée par M. V. Homès au Centre d'Etudes et de Recherches sur l'Aquiculture (C. E. R. A.) annexé au Laboratoire de Physiologie végétale de l'Université de Bruxelles et placé sous l'égide de l'Institut pour l'Encouragement de la Recherche Scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture (I. R. S. I. A.).

Cette expérience, dont les résultats complets seront publiés prochainement, a pour but de déterminer empiriquement les proportions cationiques optima pour le cotonnier (*Gossypium herbaceum*-var. Stoneville 15).

Rappelons-en sommairement les conditions : les trois cations étudiés (potassium, calcium, magnésium), exprimés en équivalents chimiques, varient, dans cette expérience, de 12,5 en 12,5 au sein d'une somme constante de 100.

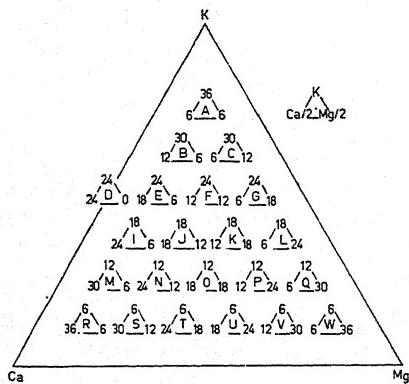
Les proportions centésimales des anions au sein de leur total, sont, pour tous les traitements, en NO_3 — $\text{SO}_4/2$ — $\text{PO}_4/3$ de 50-25-25. Le rapport de la somme des anions à la somme des cations est de 1,1 ; enfin, un même mélange d'éléments oligodynamiques a été fourni à tous les traitements. Chacun des vingt et un traitements expérimentés a été répété douze fois.

Le graphique 1 mentionne la concentration des trois cations étudiés en milliéquivalents-grammes par litre de sable. La somme constante de ces concentrations est 48 milliéquivalents-grammes par litre de sable. Chaque plante, cultivée dans dix litres de sable, a donc reçu au total 520 milliéquivalents-grammes anioniques et 480 milliéquivalents-grammes cationiques.

Dans le graphique 1 et les graphiques de même type, le point représente la position du traitement expérimental dans le triangle cationique, les nombres sont respectivement les concentrations en milliéquivalents-grammes par litre de sable en $(\frac{\text{K}}{\text{Ca}}, \frac{\text{Mg}}{\text{Ca}})$. Les traitements sont représentés alphabétiquement par les lettres de A à W ; ces symboles ne seront mentionnés que dans le premier graphique.

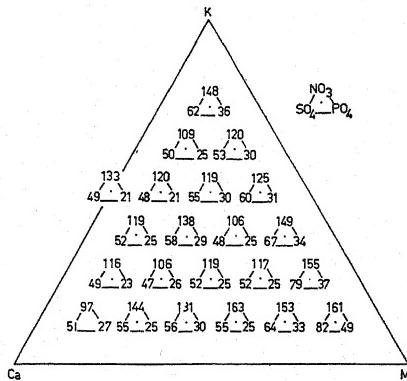
TABLEAU 1. — Équations exprimant les teneurs ioniques en milliéquivalents-grammes sur cent grammes de matière sèche (y) en fonction de la concentration (x) d'un cation par litre de sable [$y = f(x)$].

Groupement dosé	Valeur maximum de x	Couple d'éléments dont la concentration varie dans la solution											
		K — Ca				Ca — Mg				Mg — K			
		moy.	σa	$y = ax + b$	σb	moy.	σa	$y = ax + b$	σb	moy.	σa	$y = ax + b$	σb
		f. de K				f. de Ca				f. de Mg			
NO ₃	42	118,1	0,06	$1,10x + 95$	5	141,7	0,73	$-1,79x + 180$	17	142,6	0,58	$0,91x + 123$	15
	36	125,5	0,87	$-0,58x + 136$	18	122,6	0,73	$-1,48x + 149$	15	121,1	0,79	$1,43x + 95$	16
	30	120,3	0,90	$-0,52x + 128$	42	127,9	1,68	$-0,98x + 143$	24	135,1	1,37	$1,81x + 108$	21
	24	143,0	3,52	$-1,18x + 157$	36	124,5	0,50	$0,44x + 118$	7	122,3	1,17	$-0,31x + 125$	17
	moy.			$-0,30x + 129$				$-0,95x + 148$				$0,96x + 113$	
		f. de K				f. de Ca				f. de Mg			
SO ₄	42	52,1	0,17	$0,25x + 47$	5	60,7	0,27	$-0,87x + 79$	7	67,1	0,31	$0,90x + 47$	7
	36	53,7	0,27	$0,06x + 53$	6	55,6	0,50	$-1,06x + 75$	32	53,9	0,31	$0,42x + 46$	6
	30	53,9	0,43	$0,15x + 52$	7	56,4	0,65	$-1,00x + 65$	10	53,4	0,37	$0,23x + 50$	5
	24	58,2	0,87	$0,98x + 46$	8,5	53,0	0,19	$-0,56x + 63$	3	50,8	0,33	$0,27x + 48$	5
	moy.			$0,36x + 50$				$-0,87x + 71$				$0,45x + 48$	
		f. de K				f. de Ca				f. de Mg			
PO ₄	42	26,2	0,21	$0,23x + 21$	6	31,5	0,27	$-0,62x + 45$	7	36,2	0,21	$0,41x + 27$	6
	36	28,0	0,04	$0,21x + 24$	1	27,3	0,21	$-0,42x + 35$	4	27,5	0,19	$0,21x + 24$	4
	30	27,7	0,02	$0,04x + 27$		28,3	0,27	$-0,37x + 34$	4	25,0	0,29	$0,15x + 23$	4
	24	28,2	0,45	$0,75x + 19$	5	25,6	0,19	$-0,65x + 35$	3	25,6	0,08	$0,48x + 21$	1
	moy.			$0,31x + 23$				$-0,19x + 37$				$0,31x + 24$	
		f. de K				f. de Ca				f. de Mg			
K	42	89,3	0,60	$4,58x - 7$	15	41,1	0,25	$1,02x + 20$	3	13,1	0,62	$3,52x + 39$	17
	36	77,1	0,35	$4,15x + 3$	7	58,6	0,70	$1,42x + 33$	13	73,4	0,29	$2,73x + 25$	6
	30	63,8	0,31	$4,02x + 4$	10	79,2	1,15	$1,25x + 60$	15	65,6	0,62	$2,65x + 26$	9
	24	65,1	1,68	$4,77x + 8$	16	98,3	0,77	$0,77x + 30$	11	63,3	0,48	$3,94x + 4$	7
	moy.			$4,38x + 2$				$1,12x + 36$				$3,21x + 24$	
		f. de K				f. de Mg				f. de K			
Ca	42	80,3	0,19	$3,31x + 11$	5	89,2	0,15	$2,90x + 28$	4	38,6	0,06	$-0,40x + 47$	2
	36	73,3	0,50	$3,02x + 21$	11	71,0	0,29	$2,56x + 26$	6	54,5	0,33	$-0,48x + 63$	7
	30	65,3	0,62	$3,67x + 10$	9	66,4	0,56	$3,42x + 15$	8	74,5	0,58	$-0,52x + 82$	9
	24	58,1	0,42	$3,41x + 18$	4	64,8	0,52	$2,94x + 21$	7	93,7	0,96	$-0,19x + 97$	17
	moy.			$3,35x + 15$				$2,96x + 23$				$-0,40x + 72$	
		f. de Ca				f. de Ca				f. de K			
Mg	42	28,6	0,08	$0,02x + 28$	2	79,7	0,56	$3,75x + 1$	12	76,5	0,62	$3,75x - 2$	17
	36	42,4	0,23	$-0,37x + 49$	5	56,8	0,52	$2,85x + 6$	11	55,1	0,62	$3,12x + 1$	13
	30	54,6	0,73	$-0,75x + 66$	11	49,1	0,79	$2,35x + 14$	12	50,2	0,40	$2,29x + 26$	6
	24	71,1	1,17	$0,29x + 68$	12	32,5	0,23	$2,52x + 10$	4	3,0	0,37	$5,00x - 8$	5
	moy.			$-0,18x + 53$				$2,87x + 8$				$0,08x + 4$	
		f. de K				f. de Mg				f. de Mg			

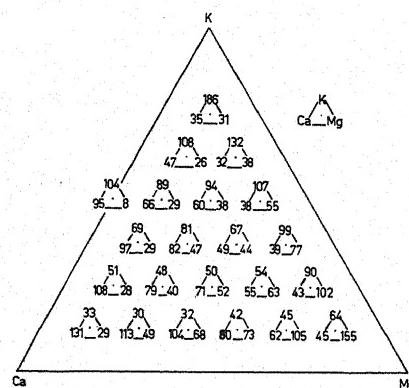


GRAPHIQUE 1. Concentration en K milliéquivalents-grammes $\text{Ca}_{1/2}\text{Mg}/2$ par litre de sable.

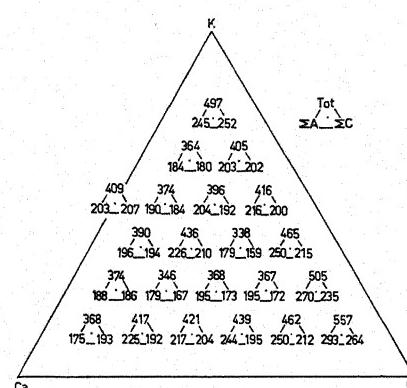
La concentration de chaque anion est identique pour tous les traitements et est en $\text{NO}_3 - \text{SO}_4/2 - \text{PO}_4/3$ en milliéquivalents-grammes de 26-13-13 par litre de sable.



GRAPHIQUE 2. Teneurs anioniques en milliéquivalents - grammes sur 100 grammes de matière sèche (NO_3 , SO_4 , PO_4)

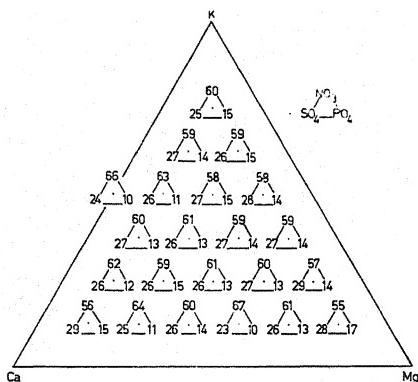


GRAPHIQUE 3. Teneurs cationiques en milliéquivalents - grammes sur 100 grammes de matière sèche. (K). Ca Mg

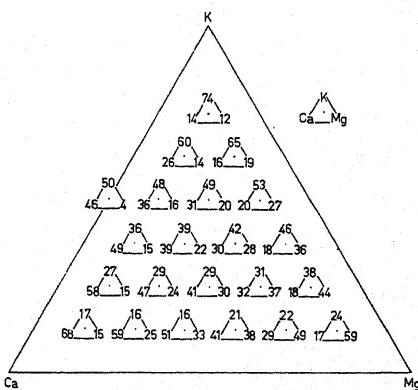


GRAPHIQUE 4. Somme des teneurs en milliéquivalents - grammes sur 100 grammes de matière sèche Tot
SA SC

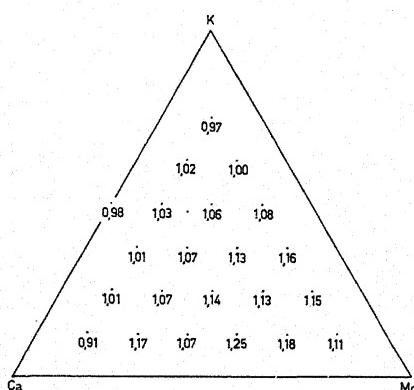
ΣA = somme des teneurs anioniques.
 ΣC = somme des teneurs cationiques.
Tot = somme des anions et des cations.



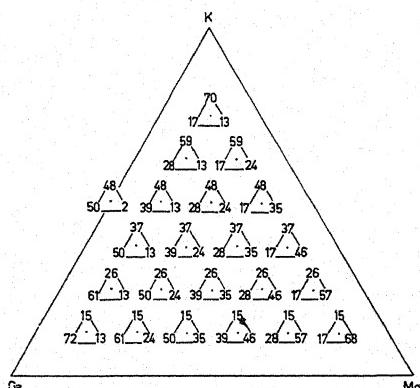
GRAPHIQUE 5. Proportions centésimales des anions au sein de leur somme
NO₃ .
SO₄ PO₄



GRAPHIQUE 6. Proportions centésimales des cations au sein de leur somme
K .
Ca Mg



GRAPHIQUE 7. Rapport du total des anions au total des cations.



GRAPHIQUE 8. Proportions centésimales des cations de l'alimentation totale (fumure + apport) au sein de leur total.

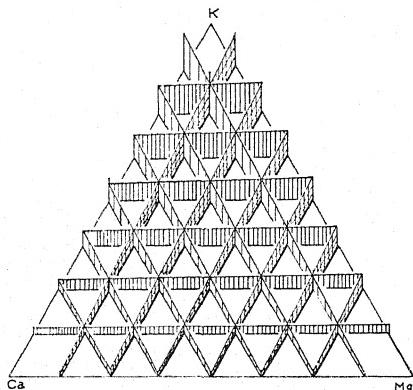


FIG. 1. — Teneurs en potassium en milliéquivalents grammes pour cent grammes de matière végétale aérienne sèche, en fonction de l'équilibre catiogénique de la fumure.

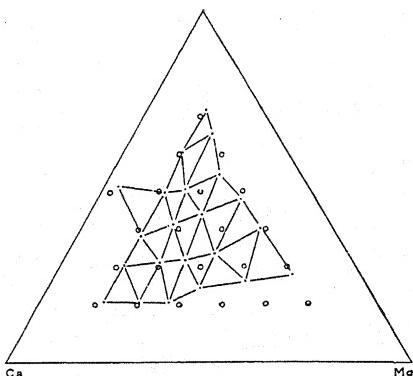


FIG. 2. — Proportions centésimales des cations au sein de leur total.

- dans la plante.
- dans l'alimentation totale.

L'expérience a été faite dans une serre tropicale à climat conditionné (saison humide de 84 jours suivie d'une saison sèche). Les plantes sont cultivées isolément en vases de végétation de grès vernissé contenant du sable de Hollande, lavé trois fois à l'eau désionisée, sur lequel un litre de solution nutritive, faite à partir d'acides et de bases, est versé. Les plantes sont cultivées par le système de percolation récupérée. Les arrosages se font à l'eau désionisée ; pour la culture, chaque plante consomme en moyenne 84 litres d'eau désionisée. Les pH des solutions percolantes varient entre 5,0 et 6,0 pour tous les traitements.

La récolte du coton s'est espacée entre les 128^e et 171^e jours de culture et la récolte des plantes s'est faite entre les 139^e et 171^e jours de culture (la moyenne générale de tous les traitements est de 28,3 grammes de coton graine par plante, pouvant atteindre 54,0 grammes dans les bons traitements). La zone optimum (c'est-à-dire la zone de meilleure production en coton graine), déterminée empiriquement, est limitée par les points M — R — S.

Les méthodes de préparation du matériel à analyser, celles de la mise en poudre, ont été décrites dans un travail précédent (1).

Les teneurs dont il sera question ici sont les teneurs moyennes en milliéquivalents-grammes pour cent grammes de matière végétale sèche sur l'ensemble de la partie aérienne de la plante, comprenant donc : tiges, limbes, pétioles, capsules et coton graine.

(1) M. V. HOMÈS et G. H. J. Van Schoor. — Composition minérale du cacaoyer en fonction du milieu nutritif dans *Alimentation minérale du cacaoyer*. INEAC, série scientifique, 1953.

I. RÉSULTATS D'ANALYSE

Les graphiques 2 et 3 mentionnent les résultats d'analyse. Les teneurs moyennes signalées ici sont les moyennes de six dosages chimiques faits sur trois incinérations de poudre végétale. Vu le peu d'étendue réservé à cette publication, nous ne donnerons pas les erreurs standard sur ces moyennes. Nous les estimerons à $\pm 10\%$.

Dans ces graphiques, les points représentent l'emplacement des traitements dans le triangle cationique ; les nombres, en milliéquivalents-grammes pour cent grammes de matière sèche, représentent les teneurs. Pour le graphique 2, les teneurs anioniques en NO_3 — $\text{SO}_4/2$ — $\text{PO}_4/3$ sont disposées dans les petits triangles comme suit ($\begin{matrix} \text{NO}_3 \\ \text{SO}_4 \quad \text{PO}_4 \end{matrix}$). Dans le graphique 3, les teneurs cationiques K — $\text{Ca}/2$ — $\text{Mg}/2$, sont placées en triangle dans l'ordre ($\begin{matrix} \text{K} \\ \text{Ca} \quad \text{Mg} \end{matrix}$).

Au graphique 4 figurent les sommes des anions (ΣA), des cations (ΣC) et la somme totale des ions dosés (Tot) dans l'ordre suivant ($\begin{matrix} \text{Tot} \\ \Sigma A \quad \Sigma C \end{matrix}$).

Les graphiques 5 et 6 mentionnent les teneurs exprimées en pour-cent du total des ions de même signe, le graphique 5 est relatif aux anions, disposés comme dans le graphique 2, le graphique 6 est relatif aux cations, disposés comme dans le graphique 3. Ces valeurs sont reportées à la figure I.

Le graphique 7 renseigne les rapports de la somme des anions à la somme des cations (A/C) pour les divers traitements.

2. DISCUSSION DES DONNÉES ANALYTIQUES

a. LES TENEURS INTERNES

Si l'on représente ces valeurs par des vecteurs perpendiculaires au plan du triangle, on obtient une figure, qui, en perspective, peut être représentée comme il est fait dans la figure I.

L'ensemble des valeurs, correspondant aux traitements représentés par des points disposés sur une parallèle à l'un quelconque des côtés du triangle, montre qu'une fonction linéaire existe entre la teneur dans la plante et la concentration relative du même corps dans le sable. Faute de place, nous ne représentons par la figure I que le cas des teneurs en potassium.

Les équations linéaires des droites de régression ont dès lors été établies (tableau I) tant pour les anions que pour les cations, pour chaque parallèle aux bases du triangle expérimental. Les teneurs qu'elles expriment en milliéquivalents-grammes pour cent grammes de matière sèche (y) sont fonction de la concentration en milliéquivalents-grammes par litre de sable (x) de l'un des deux cations soumis à variation dans le couple binaire

envisagé. La teneur interne en un cation soumis à variation dans le traitement a toujours été exprimée en fonction de ce même élément dans le milieu et non en fonction de l'autre cation variant conjointement puisque la somme des cations est maintenue constante dans la solution nutritive.

Dans le tableau I, les colonnes marquées « moyennes » expriment la moyenne des teneurs internes des traitements se trouvant sur les parallèles aux bases du triangle, les colonnes « *a* » représentent les déviations standard du coefficient angulaire. Ces valeurs permettent de juger si deux coefficients sont significativement différents entre eux (la valeur de *t* a été établie pour une probabilité de 0,05). Dans les tableaux, les coefficients statistiquement différents de la valeur zéro ont été soulignés. La colonne « *b* » mentionne les déviations standard sur le terme constant ; ici aussi les valeurs statistiquement différentes de zéro ont été soulignées.

A une première observation du tableau I, nous constatons que toutes les équations ont un terme constant positif car les trois exceptions (une en K, deux en Mg) ne sont pas significativement différentes de faibles valeurs positives. Nous reviendrons plus loin sur l'importance de ce terme constant pour la détermination de l'apport cationique étranger à la fumure. Nous constatons, en outre, que les coefficients angulaires de ces équations sont de même signe pour un même groupe d'équations, les quelques exceptions à cette remarque n'étant pas significativement différentes de faibles valeurs du signe opposé.

L'examen du tableau I permet ensuite de séparer deux groupes d'équations ; tout d'abord, celles dont le coefficient angulaire diffère statistiquement de la valeur zéro (en italique au tableau), ensuite celles dont le premier terme peut être remplacé par zéro laissant ainsi à *y* une valeur constante. Dans le premier groupe, se trouvent évidemment les équations exprimant les teneurs en un cation dont la concentration varie dans le milieu : par exemple, le potassium en fonction du potassium, le calcium en fonction du calcium, le magnésium en fonction du magnésium.

Dans le deuxième groupe, se trouvent les équations exprimant les teneurs en un élément dont la concentration ne varie pas dans le milieu extérieur : par exemple, l'azote ou le soufre.

Quelques exceptions sont toutefois à noter, mais généralement elles ne sont relatives qu'à une des équations du groupe : l'azote serait ainsi, dans un cas, dépendant du potassium et du calcium, le soufre et le phosphore du calcium et du magnésium, le calcium du potassium et enfin le magnésium du potassium, mais ce sont là des cas exceptionnels dont les équations, qui se rapportent souvent à la droite la plus proche de la base du triangle, montrent des coefficients angulaires peu élevés.

Nous considérerons donc provisoirement les teneurs en anions comme n'étant pas variables dans les couples binaires envisagés.

b. LES VARIATIONS CATIONIQUES

Sur la base des remarques précédentes, nous conclurons que la teneur en un cation est constante si cet élément ne figure pas dans le couple cationique soumis à variation.

Considérons ensuite les équations imprimées en caractères gras et examinons plus spécialement le cas du potassium.

Deux séries d'équations expriment les teneurs internes en potassium ; les valeurs moyennes de ces équations sont $4.38x + 2$ et $3.21x + 23.5$, l'écart entre leurs coefficients angulaires et l'écart entre leurs termes constants sont à la limite de la validité statistique. En outre, dans chaque groupe, les coefficients angulaires ne diffèrent guère entre eux. Cela veut donc dire que, quelle que soit la somme des variables dans la solution (42-36-30 ou 24), sur les 48 milliéquivalents-grammes cationiques fournis par litre de sable, la teneur interne en potassium est fonction linéaire de la concentration en potassium dans le sable, avec des coefficients identiques, quelle que soit la dose du troisième cation. Si l'on porte en graphique ces équations, on obtient comme nous l'avons expliqué, la figure 1. L'ensemble de ces droites détermine ainsi un plan oblique montant, dans ce cas, de la base Ca — Mg vers le sommet K.

L'identité des coefficients angulaires pour un même groupe d'équations autorise dès lors la régression plane qui intègre toutes les teneurs obtenues en potassium. On peut raisonner de même pour tous les cations.

Cependant, vu que des interactions entre anions et cations se manifestent dans quelques cas exceptionnels, il a paru intéressant de procéder à la régression plane également dans le cas des anions ; en effet, il se pourrait que sur l'ensemble de toutes les données expérimentales des interactions apparaissent mieux que sur des parallèles aux bases du triangle où forcément moins de données sont intégrées. Les équations des plans sont mentionnées au tableau 2.

Examinons tout d'abord les équations (5), (6), (7). Dans toutes les trois, la valeur des coefficients relatifs au cation envisagé est statistiquement différente de zéro, ce qui signifie que la teneur en un cation dans la plante est fonction de la concentration de ce même cation dans le milieu extérieur. Les teneurs internes en potassium et en calcium dépendent, en outre, de la concentration extérieure en magnésium mais ici avec un coefficient beaucoup plus faible surtout dans le cas du calcium.

Les limites atteintes par les teneurs cationiques peuvent être calculées à partir des hypothèses suivantes :

$$\text{Si } K = Mg = 0 \text{ et } Ca = 48$$

$$K = Ca = 0 \text{ et } Mg = 48$$

$$Ca = Mg = 0 \text{ et } K = 48$$

l'on obtient ainsi

$$11 < K < 221$$

$$10 < Ca < 167$$

$$4 < Mg < 156$$

ce qui concorde avec les résultats expérimentaux du graphique 3.

TABLEAU 2

Équations exprimant les teneurs (y) en un groupement chimiquement dosé, exprimé en milliéquivalents-grammes pour cent grammes de matière végétale aérienne sèche en fonction de la concentration en K, Ca ou Mg de cations apportés, sous forme de fumure, par litre de sable.

Groupement dosé	Moyenne générale	Equation	Numéro
NO ₃	129,5 σ	0,21 K + $\frac{1,21}{0,35}$ Mg + $\frac{108}{0,33}$	1
SO ₄ /2	56,6 σ	0,23 K + $\frac{0,79}{0,19}$ Mg + $\frac{43}{0,17}$	2
PO ₄ /3	28,7 σ	0,21 K + $\frac{0,52}{0,12}$ Mg + $\frac{17}{0,12}$	3
Total	214,8 σ	0,65 K + $\frac{2,52}{0,42}$ Mg + $\frac{168}{0,39}$	4
<hr/>			
K	76,2 σ	4,37 K + 1,06 Mg + $\frac{11}{0,37}$	5
Ca/2	69,5 σ	3,27 Ca + 0,35 Mg + $\frac{10}{0,17}$	6
Mg/2	53,8 σ	3,16 Mg + 0,06 Ca + $\frac{4}{0,35}$	7
Total +	199,5 σ	$\frac{4,37}{0,37}$ K + $\frac{3,33}{0,41}$ Ca + $\frac{4,57}{0,52}$ Mg + $\frac{25}{11}$	8
Total + et -	414,3 σ	$\frac{5,02}{0,56}$ K + $\frac{3,33}{0,41}$ Ca + $\frac{7,09}{0,65}$ Mg + $\frac{193}{16}$	9

c. APPROXIMATION DE LA RICHESSE UTILE CATIONIQUE

Le terme constant des équations du tableau 2, signifie que, si la solution nutritive n'apporte pas de cations (K = Ca = Mg = 0), la plante en trouve dans le substrat, dans l'eau d'arrosage et dans la graine dont elle est issue. C'est ce qui, dans un travail précédent (1), a été intitulé « richesse utile de l'apport ».

Les équations (5), (6), (7) permettent de déterminer cette richesse utile cationique, à condition d'admettre la linéarité de ces fonctions au voisinage de l'origine.

En effet, dans le cas de l'équation (5), si nous faisons K = Mg = 0 dans la solution nutritive, nous trouvons alors dans la plante onze milliéquivalents-grammes de potassium et de magnésium puisés dans le sol avec les mêmes coefficients que pour le potassium et le magnésium puisés dans

(1) Germaine H. J. Van Schoor. — Détermination approchée de la richesse utile en cations d'un substrat de culture (*Anales de physiologie végétale de l'Université de Bruxelles*, 1956, vol. I, page 55).

la fumure ; nous pouvons donc écrire, si K_s et Mg_s représentent l'apport en potassium et l'apport en magnésium :

$$11 = 4,37 K_s + 1,06 Mg_s \quad (10)$$

En raisonnant de même pour les équations (6) et (7) et en représentant par Ca_s l'apport en calcium on a :

$$10 = 3,27 Ca_s + 0,35 Mg_s \quad (11)$$

$$4 = 3,16 Mg_s + 0,06 Ca_s \quad (12)$$

En résolvant le système d'équations (10), (11), (12), on obtient une richesse utile de l'apport en milliéquivalents-grammes par litre de sable de 2,0 pour K_s , 3,0 pour Ca_s , 1,2 pour Mg_s soit au total 6,2.

d. LA SOMME DES CATIONS (total +)

L'équation (8) montre que la somme des cations dans la plante n'est pas constante. En effet, les coefficients angulaires ne sont pas identiques et ne peuvent donc être mis en évidence devant un terme ($K + Ca + Mg = 48$ milliéquivalents-grammes) qui est une constante de l'expérience ; toutefois, les coefficients de K et Mg sont assez semblables et nous pouvons écrire l'équation (8) sous la forme :

$$y = 3,3 Ca + 4,4(K + Mg) + 25 = 3,3 Ca + 4,4(48 - Ca) + 25 = 236 - 1,1 Ca$$

cette équation permet de comprendre les résultats notés au graphique 4 où la somme des teneurs cationiques diminue à concentration croissante en calcium.

Les limites de la somme des cations (Total +) peuvent être établies comme suit : $185 < \text{total} + < 244$ ce qui concorde avec les résultats expérimentaux du graphique 4.

e. LES VARIATIONS ANIONIQUES

Les équations (1), (2) et (3) montrent que les anions comme les cations dépendent de la teneur en magnésium : l'azote avec un coefficient angulaire voisin de celui du potassium, le soufre et le phosphore avec des coefficients moindres. Ceci justifie la régression plane. En effet, l'action du magnésium peu certaine dans le cas des régressions linéaires s'est affirmée ici ; celle du potassium, au contraire s'est affaiblie.

Il faut noter que la variation des anions en fonction du traitement est très faible par rapport à celle des cations. Il suffit de comparer les coefficients angulaires significatifs dans les équations (1), (2), (3) et (5), (6), (7). D'autre part, les limites de variation peuvent être établies comme suit :

$$108 < NO_3^- < 166$$

$$43 < SO_4^{2-}/2 < 81$$

$$17 < PO_4^{3-}/3 < 42$$

ce qui concorde avec les résultats expérimentaux du graphique 2.

Le terme constant exprime la valeur de l'apport en anions de substrat, de la graine, de l'eau d'arrosage augmentée de l'apport constant de la fumure s'élevant en milliéquivalents-grammes pour un litre de sable à 26 pour NO_3 , 13 pour $\text{SO}_4/2$, 13 pour $\text{PO}_4/3$.

Pour l'azote, nous pourrions considérer l'apport du substrat, de la graine et de l'eau désionisée comme insignifiant vis-à-vis de celui de la fumure. Ceci nous permettrait de déterminer le coefficient angulaire de l'azote si nous admettons que la concentration interne en azote est une fonction linéaire directe de sa concentration extérieure. En effet, si le potassium et le magnésium sont absents de la fumure, le terme constant 108 représente l'apport de la fumure en azote (26) multiplié par un coefficient inconnu augmenté de 1,21 fois le magnésium du substrat, évalué précédemment à 1,2. Nous avons ainsi :

$$108 = x \cdot 26 + 1,21 \cdot 1,2$$

d'où

$$x = 4,1$$

coefficient qui est du même ordre de grandeur que celui du potassium (remarque déjà faite au sujet du tabac) (1).

Dans le cas du soufre et du phosphore, nous n'osons appliquer le raisonnement, vu la possibilité de fixation éventuelle par le sable de culture.

f. LA SOMME DES ANIONS (total —)

L'équation (4) montre que la somme des anions n'est pas constante et dépend de la teneur en magnésium de la fumure, ce qui concorde avec les données du graphique 5.

La somme des anions varie entre les limites suivantes : $168 < \text{total} - < 289$, ce qui est confirmé par les résultats expérimentaux du graphique 4.

g. LA SOMME TOTALE DES ÉLÉMENTS DOSÉS (total + et —)

L'équation (9) montre que la somme totale des cations et des anions n'est pas constante et sera d'autant plus élevée que le magnésium en particulier a une valeur élevée, ce qui peut être observé dans le graphique 4.

Les limites calculées sur la base de l'équation du tableau 2 sont : $353 < \text{total} + \text{et} - < 412$, ce qui est en accord avec les résultats expérimentaux du graphique 4.

h. RAPPORTS ANIONIQUES

Dans les équations des plans, les anions semblent dépendre uniquement du magnésium. A partir des équations (1), (2), (3), dans lesquelles on a négligé les termes dont les coefficients ne sont pas statistiquement diffé-

(1) M. V. Homès et G. H. J. Van Schoor. — La composition minérale du tabac en fonction du milieu nutritif, 2^e colloque sur l'analyse minérale des végétaux, Paris, 1956.

rents de zéro, on peut établir les proportions centésimales des anions au sein de leur somme. Celles-ci varient hyperboliquement avec la concentration en magnésium. Prenons le cas de l'azote par exemple : la proportion centésimale d'azote au sein du total anionique est de 100.

$$100 \cdot \frac{1,21 \text{ Mg} + 108}{2,52 \text{ Mg} + 168} .$$

Si dans ce rapport, nous donnons à Mg la valeur minimum (0) ou maximum (48), qu'il peut atteindre au sein de la somme constante des cations nous avons les limites entre lesquelles varient les proportions d'azote ; on a ainsi en raisonnant de même pour le soufre et le phosphore :

$$\begin{aligned} 55 < \text{N} < 65 \\ 29 < \text{SO}_4/2 < 24 \\ 10 < \text{PO}_4/3 < 17 \end{aligned}$$

ce qui est effectivement confirmé par le graphique 5 où sont mentionnées les valeurs expérimentales.

Cependant, dans le raisonnement précédent, on doit admettre que pour une même concentration de Mg dans le sable, les proportions anioniques sont constantes. Or, si l'on examine les données expérimentales, l'on voit que sur une même parallèle à la base K — Ca, les proportions anioniques varient parfois de 10 % entre elles, mais cet écart est peut être dû à la variabilité de l'analyse et de l'expérience elle-même ou à la technique même de l'analyse.

i. RAPPORTS CATIONIQUES

L'on peut étendre le raisonnement précédent aux cations, mais ici la forme mathématique est plus complexe. Il y a deux variables par équation et les limites de variation ne peuvent être aussi aisément calculées.

Prenons le cas du potassium. Nous avons en proportions centésimales du total des cations :

$$\begin{aligned} 100 \cdot \frac{4,37 \text{ K} + 1,06 \text{ Mg} + 11}{4,37 \text{ K} + 3,33 \text{ Ca} + 4,57 \text{ Mg} + 25} = \\ 100 \cdot \frac{4,37 \text{ K} + 1,06 \text{ Mg} + 11}{3,33 (\text{K} + \text{Ca} + \text{Mg}) + 1,04 \text{ K} + 1,24 \text{ Mg} + 25} = \\ 100 \cdot \frac{4,37 \text{ K} + 1,06 \text{ Mg} + 11}{3,33 (48) + 1,04 \text{ K} + 1,24 \text{ Mg} + 25} = \\ 100 \cdot \frac{4,37 \text{ K} + 1,06 \text{ Mg} + 11}{1,04 \text{ K} + 1,24 \text{ Mg} + 185} = \end{aligned}$$

Supposons K = 0 dans la fumure, Mg varie alors entre 0 et 48, les limites des proportions centésimales internes en K sur la base Ca — Mg sont donc 6 et 25 qui sont des valeurs différentes de zéro et prouvent l'existence d'un apport étranger à la fumure. D'autre part, si K = 48 et Mg = Ca = 0 dans la fumure, nous avons 94 comme limite supérieure des proportions

centésimales internes en K. Nous avons donc comme limites en étendant ce raisonnement aux autres cations :

$$6 < K < 94$$

$$10 < Ca < 90$$

$$1,7 < Mg < 63$$

ce qui confirme les résultats du graphique 6.

j. LE RAPPORT A/C

Le rapport de la somme des anions à la somme des cations (A/C) peut s'établir sur la base des équations (4) et (8). Il vaut :

$$\frac{0,65 K + 2,52 Mg + 168}{4,37 K + 3,33 Ca + 4,57 Mg + 25} = \frac{0,65 K + 2,52 Mg + 168}{3,33 (K + Ca + Mg) + 1,04 K + 1,24 Mg + 25} = \frac{0,65 K + 2,52 Mg + 168}{3,33 (48) + 1,04 K + 1,24 Mg + 25} = \frac{0,65 K + 2,52 Mg + 168}{1,04 K + 1,24 Mg + 185}$$

Ceci est confirmé par le graphique 7 où le rapport augmente plus avec le magnésium qu'avec le potassium. En effet, au numérateur, le coefficient de Mg est plus grand que celui de K et ce en proportions plus élevées qu'au dénominateur et comme le calcium vaut 48 — (K + Mg) et que la somme 1,04 (K + Mg) est plus grande que 0,65 (K + Mg), nous pouvons dire que le rapport A/C diminue avec le calcium.

Les limites de ce rapport peuvent être calculées

Si $K = Mg = 0$ et $Ca = 48$; il vaut 0,91

$K = Ca = 0$ et $Mg = 48$; il vaut 1,20

$K = 48$ et $Ca = Mg = 0$; il vaut 0,85

nous en concluons $0,85 < A/C < 1,20$.

Ceci est confirmé, à une exception près (traitement U) par les valeurs expérimentales du graphique 7.

La valeur moyenne de tous les rapports A/C est de 1,08, ce qui est très voisin de la valeur 1,10 de ce même rapport dans la solution nutritive.

k. L'ALIMENTATION TOTALE

Connaissant la valeur de l'apport en milliéquivalents-grammes par litre de sable : 2,0 de K, 3,0 de Ca, 1,2 de Mg, il est intéressant de calculer les rapports cationiques au sein de l'alimentation totale (fumure + apport) fournie à la plante. Nous avons ainsi, en milliéquivalents-grammes par litre de sable, pour le traitement A : $(36,0 + 2,0 = 38)$ de K, $(6,0 + 3,0 = 9,0)$ de Ca, $(6,0 + 1,2 = 7,2)$ de Mg, ce qui fait en proportions centésimales de leur total en K — Ca — Mg : 70 — 17 — 13. Les résultats de ces calculs pour tous les traitements sont reportés au graphique 10 dont les

valeurs sont très voisines de celles du graphique 6. Les résultats de ces tableaux sont reportés à la figure 2. Vu la grande approximation affectant la richesse utile et la variabilité propre à chaque teneur, il semble vraisemblable de conclure à l'identité des rapports ioniques dans la plante entière et au sein de son alimentation totale.

Une conséquence intéressante résulte de cette constatation. Si la composition optimum de l'alimentation totale est connue par une expérience préalable (par exemple en milieu pur où il n'y a pas d'interférence due à un substrat naturel fertile), et si d'autre part l'analyse du sol permet de connaître l'apport alimentaire de ce sol (chose encore incertaine à l'heure actuelle), on pourrait pour chaque sol déterminer, à partir des équations établies, la fumure à appliquer pour rendre le milieu optimum du point de vue alimentaire.

La première condition est réalisable. Elle est même réalisée dans le cas qui nous occupe, l'expérience ayant établi l'optimum recherché. Nous savons ainsi que, dans l'alimentation totale optimum, les proportions centésimales de K — Ca — Mg sont 20 — 62 — 18 (moyenne des valeurs relatives aux traitements M, R, S, qui délimitent la zone optimum)..

Si les proportions de K — Ca — Mg dans le sol sont connues et si la valeur relative de la dose de fumure choisie devant l'apport naturel du sol est fixée, on peut calculer les proportions à respecter dans cette fumure pour des mêmes corps.

CONCLUSIONS

La composition interne en NO_3 , $\text{SO}_4/2$, $\text{PO}_4/3$, K, $\text{Ca}/2$, $\text{Mg}/2$ a été déterminée pour l'ensemble des parties aériennes du cotonnier (comprenant donc le coton graine) cultivé sur sable (système de percolation récupérée) à somme constante ionique et soumis à vingt et un traitements répartis régulièrement dans le triangle cationique.

Il apparaît que les teneurs internes, en un élément, sont des fonctions linéaires de la concentration de cet élément dans le milieu extérieur mais que, d'autre part, les teneurs, en tous les éléments dosés, dépendent faiblement du magnésium alimentaire. L'ensemble de ces fonctions détermine des plans dont les équations établissent les teneurs internes en n'importe quel élément en fonction de certaines teneurs cationiques du milieu extérieur.

Il a été possible de calculer le coefficient angulaire relatif à l'azote. Il serait du même ordre de grandeur que celui du potassium.

Les variations anioniques et les variations cationiques sont très faibles, pour les éléments qui sont en concentration constante dans le milieu.

La somme des anions, la somme des cations, la somme totale des teneurs internes varient peu, mais cependant valablement, avec la composition cationique.

Les proportions centésimales des éléments, au sein de la somme de même signe, tendent à être identiques dans la plante et dans l'alimentation totale (fumure plus apport du substrat, de l'eau d'arrosage, de la graine).

Le rapport de la somme des anions à la somme des cations augmente légèrement avec le magnésium. Sa moyenne est identique à la valeur de ce même rapport dans la solution nutritive.

Il a été possible de déterminer la valeur de la richesse utile du sable de culture.

La composition interne d'une plante, cultivée à l'équilibre cationique optimum, a été établie.

Nous insistons sur le fait que les conclusions qui viennent d'être formulées ont été établies à somme constante des ions dans le milieu nutritif (exprimés en équivalents chimiques) et que nous n'entendons pas les étendre, dès à présent, à d'autres conditions.

DISCUSSION

DUMAS (Ifac, Paris). — *Dans quelle mesure l'équilibre des cations est-il indépendant de l'équilibre des anions, plus particulièrement si on considère les formes sous lesquelles on donne l'azote ?*

M. HOMÈS. — L'indépendance de ces équilibres *dans la détermination du milieu nutritif optimum* est très largement établie. Il semble bien que ce soit seulement dans les cas de déséquilibre extrême de l'un des groupes qu'une légère modification des proportions optimales de l'autre se manifeste. Enfin la forme d'azote agit plutôt sur les proportions optimales anions/cations, que sur chacun des deux équilibres partiels.

BROESHART (Yaligimba, Congo Belge). — *What was the aim of the experiment ? How are the results being extrapolated for field conditions ?*

R. — The aim was to follow the variations of the internal mineral composition of the plant as they result from definite variations in the nutrient medium. This seems the only reasonable way of approaching the problem with which we are confronted in field conditions, i. e. deduce, from internal chemical data, informations about nutrient status of the soil. Extrapolation is not yet directly considered.

GOUNY (Inra). — *Influence de la concentration totale de la solution nutritive sur les proportions optimum d'éléments fertilisants, permettant d'obtenir le rendement maximum ?*

En cultures artificielles, il semble, qu'en adoptant des rythmes d'alimentation différents, on puisse avoir des résultats identiques avec des solutions renfermant des proportions d'éléments différentes.

(Après réponse de M. Homès, commentaire de M. Molle) : M. Molle confirme la réponse du Prof. Homès en citant une expérimentation réalisée à Yangambi sur soja, dans laquelle la zone de croissance optimale calculée ne fut pas modifiée par les niveaux de doses utilisées dans l'application de la méthode du Prof. Homès.

R. — La zone optimum dans le graphique représentatif des proportions anioniques ou cationiques n'est guère influencée ni modifiée par la variation de la concentration totale en milieu pur. Aux champs, évidemment, le sol constituant l'un des composants du milieu nutritif (avec l'engrais), toute modification de la dose d'engrais entraîne, l'autre constituant étant fixe, une modification de l'équilibre optimum dans l'engrais.

Rôle physiologique du bore chez les plantes

Sur les causes de la différence entre les besoins de bore dans les conditions écologiques diverses et sur l'action réciproque des éléments minéraux dans le métabolisme

par

**M. J. CHKOLNIK, M. M. STEKLOVA, N. A. MAKAROVA,
N. V. KOVALIEVA et V. N. GRETCHISTCHEVA**

Institut botanique de l'Académie des Sciences de l'U.R.S.S., Léningrad

Les chercheurs qui ont étudié la nutrition borique par la plante ont pu observer des faits fort intéressants concernant les nécessités différentes de cet élément sous des conditions variées du milieu écologique.

Les recherches de l'un de nous (Chkolnik, 1935, 1939) ont montré que le besoin en bore des plantes dépend de la température ; l'auteur a trouvé que le bore est surtout nécessaire à une haute température et beaucoup moins à une température plus basse de 12-15° C. (fig. 1).

Ce grand besoin en bore à de hautes températures est prouvé par le fait que les maladies, occasionnées par son insuffisance (pourriture sèche du « cœur » de la betterave sucrière, bactériose du lin, nécrose de la vigne, transformation en liège de l'intérieur de la pomme) sont surtout répandues pendant les étés chauds et secs.

Le degré de besoin en bore de la plante dépend aussi en grande partie du pH de la solution nutritive. P. M. Smirnov (1930), Mes (1930) et Rehm (1937) ont démontré que chez le tabac en culture hydroponique, les quantités de bore nécessaires sont moins importantes à pH neutre et alcalin qu'à pH acide.

Chez le tabac, L. T. Gavrilova a montré (1935) que le besoin en bore diminue lorsque la quantité de phosphore de la solution de Knop décroît à 1/16. M. J. Chkolnik et N. A. Makarova (1950) ont démontré dans leurs

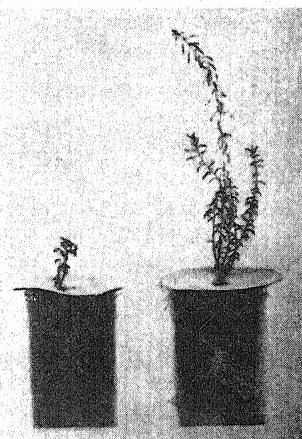


FIG. 1.—Influence de la température sur les besoins de la plante en bore. A gauche : plantes de lin ayant dépéri par suite de l'insuffisance de bore avant le début des froids ; à droite : une plante semblable qui n'avait pas péri et qui se rétablit après le début des froids.

expériences avec des cultures sans sol que sous des doses faibles d'azote ($\frac{1}{8}$ de la dose normale de Knop), les symptômes de carence, occasionnés par l'insuffisance en bore, apparaissaient chez ces plantes plus tard que chez celles qui avaient reçu une dose complète d'azote (Tableau I).

TABLEAU I

Dépendance du besoin en bore, chez le lin, de la quantité d'azote dans la solution nutritive

Traitements	Poids sec en g.			En %
	Feuilles et tiges	Racines	Plante complète	
Mélange nutritif complet de Knop + bore (norme de N complète).....	0,3586	0,0594	0,4180	100,0
Le même sans bore	0,0694	0,0112	0,0806	19,2
Mélange nutritif de Knop avec $\frac{1}{8}$ de la norme N. Sans bore.	0,1506	0,0304	0,1810	43,3

Indépendamment de nos travaux, E. D. Bouslova a démontré (1950) sur le lin et le tournesol que, si l'on élimine le bore et l'azote, on n'observe jamais de symptômes de carence caractéristiques pour le manque de bore.

Les résultats obtenus par M. J. Chkolnik, N. A. Makarova et E. D. Bouslova s'accordent avec les faits, observés par différents auteurs (Hill 1936 ; Schmidt 1937, Peive 1938). Les auteurs montrent la fréquence des maladies, occasionnées par insuffisance du bore (transformation en liège de l'intérieur des pommes, pourriture sèche du cœur, bactériose du lin) sur les sols ayant reçu de grandes doses d'azote, lorsque les rapports normaux N/K ont été perturbés.

Les nombreux travaux des chercheurs soviétiques ont montré (Bobko et Boloousov 1934, Katalymov 1934, Kedrov-Zikhmann 1936, Abatourova 1936 et d'autres) une forte augmentation du besoin de la plante en bore dans les cas d'emploi de hautes doses de chaux (Ca CO_3) (voir Tableau II tiré de la publication d'Abatourova (1936) expériences sur sols très acides).

TABLEAU II

Influence du bore sur la récolte de la betterave fourragère, du tournesol et des choux en cas de forts chaulages.

Traitements	Récolte des racines par pot en g.					
	Betterave fourragère		Tournesol		Choux	
	Sans bore	Avec bore	Sans bore	Avec bore	Sans bore	Avec bore
Sans Ca CO_3	6	—	63	—	121	—
CaCO_3 1/4 d'acidité hydrolytique.....	286	412	102	125	156	156
Ca CO_3 1/2	416	517	92	130	133	170
Ca CO_3 1/1	176	690	75	132	127	181
Ca CO_3 2/1.....	2	834	43	135	19	172

L'augmentation du besoin en bore de la plante dans les cas de fortes doses d'azote montre l'action antagonique de cet élément et de fortes doses de chaux sur le métabolisme.

C'est pourquoi le bore peut corriger les déséquilibres occasionnés par l'action exclusive de fortes doses d'azote et de chaux sur le métabolisme.

D'autre part, d'après les données de M. J. Chkolnik et N. A. Makarova (1950), N. V. Kovalieva et M. J. Chkolnik (1954), les besoins en bore diminuent dans les cultures hydroponiques en présence de fortes doses de fer et surtout de magnésium. La carence en bore se manifeste beaucoup plus tard.

En l'absence de bore, l'orge développe des pousses végétatives assez vigoureuses mais les épis sont stériles ; la stérilité peut être combattue par l'action du magnésium, du fer et aussi du potassium et du beryllium ; la récolte en graines, quoique moindre que sous l'action du bore, est tout de même assez bonne.

Chkolnik (1955) a montré que le manque de bore peut être partiellement contrebalancé par le fer ; réciproquement, le bore peut en partie compenser le manque de fer.

En même temps, Chkolnik et Steklova (1951) ont démontré, en cultures hydroponiques que, si l'on cultive le lin à une température assez basse, on peut partiellement compenser l'insuffisance en bore par de l'eau oxygénée H_2O_2 , ajoutée chaque jour au milieu nutritif, au nombre de quelques gouttes (fig. 2 et Tableau III).

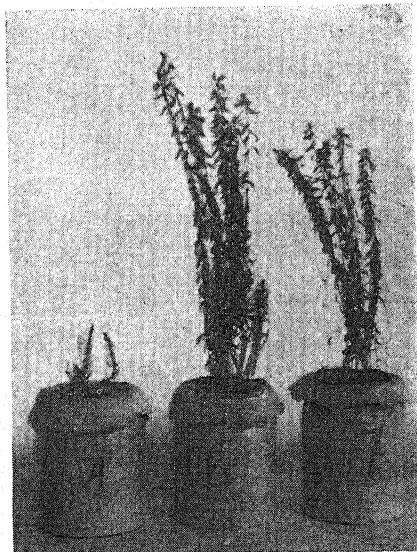


FIG. 2. — Influence de H_2O_2 sur la croissance du lin : 1, sans bore ; 2, avec bore ; 3, sans bore et avec H_2O_2 .

TABLEAU III

Action de H_2O_2 sur la récolte du lin en absence de bore (plantes âgées de 50 jours)

Traitements	Récolte en g. par vase de végétation			Récolte générale en %
	Partie aérienne	Racines	Récolte totale	
Milieu nutritif de Knop sans bore.....	0,0466	0,0040	0,0506	16,9
Le même + B 0,5 mg/litre	0,2648	0,0342	0,2989	100,0
Le même + 1 % H_2O_2	0,0804	0,0112	0,0916	30,6
Le même + 3 % H_2O_2	0,1644	0,0196	0,1840	61,5
Le même + 5 % H_2O_2	0,1584	0,0246	0,1830	61,2
Le même + 6 % H_2O_2	0,1355	0,0106	0,1561	52,2

Un résultat semblable a été obtenu pour des plantes âgées de 15 jours dans les expériences de Chkolnik (1955 b) avec le lin et *Vicia Faba* par l'emploi de MnO_2 , ajouté après l'exclusion du bore. Dans ce cas, on a pu même obtenir une fructification chez *Vicia Faba* (fig. 3). Ce résultat est très important, vu le rôle spécifique du bore dans la formation des organes reproductifs.

Les données mentionnées correspondent complètement aux résultats de Middleton, Hall, Wedding et Kendrick (1952). Ces auteurs ont montré que la maladie du céleri, « fragilité de la tige » ayant pour cause l'insuffisance en bore, peut être complètement éliminée non seulement par le bore, mais aussi par le sulfate de magnésie ($MgSO_4$), presque complètement par MnO_2 , et très abaissée sous l'influence du fer. Ces données correspondent aussi aux résultats de Peive (1938) qui montrent que l'apparition de la maladie du lin, appelée « Bactériose », qui s'élimine par le bore, peut être aussi combattue sans bore, par l'emploi d'éléments minéraux correctement équilibrés.

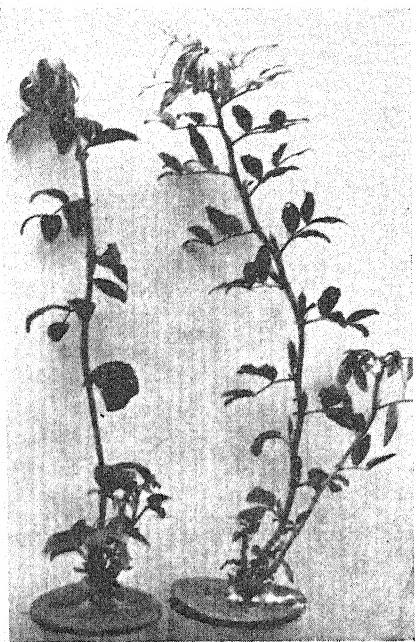


FIG. 3. — Influence de MnO_2 sur la croissance de *Vicia Faba* en l'absence de bore dans le milieu nutritif : 1, 15 jours avec bore, ensuite le bore est exclu ; 2, le même, mais après l'exclusion du bore, on a donné MnO_2 .

celle du bore sur les processus principaux du métabolisme des plantes. Les données concernant l'influence de ces facteurs sur le métabolisme des plantes peuvent permettre de comprendre certaines des questions les plus importantes sur le rôle physiologique du bore.

Nous pensons aussi qu'en expliquant d'une part les particularités physiologiques des plantes dicotylédones, plus sensibles au manque de bore, et, d'autre part, des graminées représentant des plantes monocotylédones, moins sensibles au manque de bore, nous pourrons contribuer à l'analyse des questions principales concernant le rôle physiologique du bore.

Comment peut-on se représenter les rapports entre les besoins en bore, plus ou moins grands chez les plantes, et les conditions écologiques diverses ?

Ce que nous savons de la grande influence de la température sur les propriétés colloïdo-chimiques du protoplasme permet de supposer que l'augmentation des besoins en bore sous l'action d'une haute température, de doses importantes d'azote, de phosphore et de chaux (Ca CO_3) et des pH bas s'explique par le fait suivant : le bore corrige les modifications des propriétés colloïdo-chimiques du protoplasme qu'on observe dans ces différents cas.

Au contraire, un moindre besoin en bore à des températures plus basses, à des pH élevés, à de fortes doses de magnésium, ou de fer, par l'introduction de H_2O_2 et de MnO_2 , résulte de l'influence de ces éléments semblable à celle du bore sur les caractéristiques colloïdo-chimiques du protoplasme. Cette hypothèse a été émise en 1950 (Chkolnik 1950) ; cependant les faits, signalés plus tard (Natanson 1952 ; Makarova et Chkolnik (1955) concernant la spécification de l'action presque nulle du bore — par exemple sur la viscosité du protoplasme, nous ont amené à conclure que les différences de besoin en bore sous différentes conditions écologiques s'expliquent par la grande influence de cet élément sur d'autres processus.

Les expériences de M. J. Chkolnik et de M.M. Steklova (1951) ont montré qu'il est possible d'obtenir, sans bore, à l'aide de H_2O_2 , une croissance satisfaisante des organes végétatifs aériens et surtout des racines ; cela permet de supposer une grande importance du bore dans l'approvisionnement des plantes en oxygène.

Plus tard, les expériences de notre laboratoire (Kovalieva 1953 ; Chkolnik et Steklova 1954) ont suggéré que la cause de l'influence positive de H_2O_2 en cas de manque de bore, peut être recherchée dans d'autres facteurs que l'amélioration de l'approvisionnement en oxygène à la plante.

Ces expériences ont montré que H_2O_2 pouvant compenser partiellement aussi l'insuffisance en fer, a une grande influence sur l'activité des ferment oxydo-réducteurs.

On a signalé (Chkolnik 1934, Warington 1934 ; Bobko et Syrovotkin 1935 ; Novikov 1936 ; Rehm 1937 ; Schmidt 1937 et d'autres) l'influence du bore sur l'absorption d'éléments minéraux : par exemple, il peut diminuer l'absorption du phosphore et de l'azote et augmenter celle du K, Ca, Fe et d'autres cations.

Ces données permettent de supposer que le grand besoin en bore dans les cas de hautes doses de magnésium et de fer dépend de l'influence régulatrice du bore sur l'absorption des éléments minéraux : diminution de l'azote et du phosphore et augmentation du magnésium et du fer. Certains chercheurs (Schmidt 1937 ; Rehm 1937) supposent que la capacité du bore à éliminer l'action négative de certains rapports défavorables des éléments minéraux dépend en grande partie de son influence sur l'absorption des éléments minéraux : sa capacité à changer les rapports nuisibles de ces éléments dans les tissus.

Cependant, cette explication amène à une série de difficultés. Ainsi,

il a été impossible d'expliquer la cause de l'influence positive du bore dans les cas de hautes doses de calcium par la supposition que le bore diminue l'absorption de cet élément, car, d'après les données de Warington (1934) et d'autres, le bore, au contraire, augmente l'absorption du calcium.

Les recherches, faites par M. J. Chkolnik, N. A. Makarova, et M.M. Steklova (1951) ont montré que, malgré une certaine influence du bore sur l'absorption des éléments minéraux — abaissement pour l'azote et augmentation pour le magnésium et le fer — son action dans les cultures sur sol n'est pas suffisante pour être la cause des besoins différents en bore suivant les teneurs et équilibres divers des éléments minéraux dans le sol. Nos recherches ont montré l'incapacité du bore à corriger les déséquilibres marqués de N/K des tissus, qu'on a observés à la suite d'un rapport NP/K du sol très élevé chez le lin ayant un grand besoin en bore. Il est intéressant de constater que chez le blé, dont les besoins en bore sont moindres, le haut rapport NP/K dans le sol n'a presque pas changé le rapport N/K dans des tissus. En outre, le blé donnait un accroissement sensible de la récolte avec un rapport élevé NP/K, tandis que le lin diminuait son rendement sous des conditions identiques.

On a démontré que la direction des processus d'oxydo-réduction dans les plantes dépend de l'équilibre des éléments minéraux dans la solution nutritive (Vladimirov 1948 ; Tourkova 1950). On savait aussi l'influence du bore sur la respiration (Chkolnik 1939) et sur l'activité des ferment oxydants (Reed 1937 ; Mac Vicar et Burries 1948). Ces faits nous ont conduit à supposer que la variabilité du besoin en bore, en fonction des teneurs et équilibres en éléments minéraux, provient de son pouvoir de régularisation des processus d'oxydo-réduction.

Les recherches de notre laboratoire ont confirmé cette supposition. Les travaux de N. V. Kovalieva et M. J. Chkolnik (1952, 1954) ; N. V. Kovalieva (1953) ; M. J. Chkolnik et M.M. Steklova (1954) ; M.M. Steklova (1956) ; V. P. Bogenko (1955) ont démontré que, sous les conditions de hautes températures et de fortes doses d'azote et de chaux, on observe une modification des processus d'oxydo-réduction, c'est-à-dire du cours normal de la respiration. Dans ces cas, on observe une rupture des rapports des phases déshydrase et oxydase de la respiration vers une trop forte activation de la seconde. Le bore, ayant la capacité d'activer la phase déshydrase de la respiration et d'abaisser la trop haute activité des ferment oxydateurs et de la respiration, devient extrêmement nécessaire dans ces cas. Il renforce l'activité de réduction de l'iode dans les tissus, l'activité des déshydrases et des catalases, le contenu en acide ascorbique et acides organiques et affaiblit l'activité des ferment oxydateurs et de la respiration.

Dans ce cas, le bore joue le rôle d'antagoniste des hautes doses de chaux et d'azote ; il agit aussi comme un élément qui influence certains aspects du métabolisme des plantes, à l'opposé de l'action d'une température élevée.

Pour illustrer l'action antagoniste du bore et des hautes doses de

chaux, nous donnons ici deux tableaux tirés de la publication de M.M. Steklova (1956) (Tableaux IV et V).

TABLEAU IV

Influence du bore sur l'activité des ferment oxydateurs
et de la respiration des feuilles du lin sous différentes doses de chaux

Traitements	Activité des polyphénolxydases en ml 0.01 n KI _{0.3} pour 1 g. de poids frais	Activité des peroxydases en ml. 0.01 n KI _{0.3} p. 1 g. de poids frais	Intensité de la respiration en absorption de ml d'oxygène en 1 heure par 1 g. de poids frais		
			Plantes de 88 j.	Plantes de 92 jours	
				10 h.	15 h.
NPK + CaCO ₃ par 1/4 a. h. sans bore	2.6	22.0	637	411	511
Le même + bore ...	1.6	22.8	628	405	501
NPK + CaCO ₃ par 2 a. h. sans bore	3.2	23.2	765	574	649
Le même + bore ...	2.6	19.6	617	441	445

a. h. = acidité hydrolytique.

Comme on le voit dans les données du Tableau IV, une haute dose de chaux n'augmente que médiocrement l'activité des ferment oxydateurs polyphénolxydases et peroxydases, mais augmente assez sensiblement l'activité de la respiration. Le bore agit d'une manière diamétralement opposée ; il diminue l'activité des ferment indiqués et surtout la respiration. Le bore se manifeste donc comme antagoniste des hautes doses de chaux. Cet exemple montre qu'à la base de l'antagonisme des ions se trouvent non seulement des réactions ioniques — l'action contraire des ions antagonistes sur les colloïdes, comme le pensaient beaucoup de chercheurs — mais aussi, ce qui est plus important, l'influence contraire des ions antagonistes sur des processus physiologiques déterminés.

Il est intéressant de constater que, comme l'a montré M.M. Steklova (1956), l'influence de la chaux sur l'activation de la respiration et du bore (sous de hautes doses de chaux) — sur l'affaiblissement de la respiration, se transmettent à la génération suivante (Tableau V).

Les faits démontrés, concernant la capacité du bore, de régulariser la direction des processus oxydo-réducteurs et d'abolir les déséquilibres dans la corrélation des phases de respiration, s'accordent avec les données de Mac Vicar et Burris (1948) et de V. P. Bogenko (1955) sur l'augmentation de l'activité des déshydrases sous l'influence du bore, ainsi que sur l'abaissement de l'activité des peroxydases (Jakovleva 1952) et de l'intensité de la respiration (Chkolnik 1939 ; Bobko 1950 ; Jakovleva 1952). Cependant, comme l'ont montré nos recherches, le bore ne diminue pas toujours l'activité de la respiration et des ferment oxydateurs.

N. V. Kovalieva (1955) a démontré qu'une forte dose de chaux peut, sous certaines conditions de température, être excessive et diminuer la

TABLEAU V

Persistance de l'action de la chaux et du bore sur la respiration des feuilles des plantes de la génération suivante

Traitements	Activité de la peroxydase en ml. 0.01 n KI _{0.3} Pour 1 g. de poids frais		Intensité de la respiration en ml. d'oxygène absorbé pour 1 h., par g. de poids frais		
	Plante 81 j.	Plante 85 j.	Plante 89 j.	Plante 93 j.	Plante 94 j.
NPK + CaCO ₃ par 1/8 d'a. h. sans bore en 1950. NPK sans CaCO ₃ et sans bore 1952.....	9.8	27.8	578	454	470
NPK + CaCO ₃ p. 1/8 d'a. h. + B en 1950. NPK sans CaCO ₃ et sans bore 1952.....	1.6	13.6	571	445	453
NPK + CaCO ₃ p. 1 d'a. h. sans B, 1950. NPK sans CaCO ₃ et sans bore 1952	12.8	28.4	701	591	602
NPK + CaCO ₃ p. 1 d'a. h. + B en 1950. NPK sans CaCO ₃ et sans bore 1952	8.0	21.6	660	561	573
NPK + CaCO ₃ p. 1 d'a. h. + B en 1950. NPK + CaCO ₃ p. 1 d'a. h. sans B. 1952.....	2.0	9.6	563	498	477

a. h. = acidité hydrolytique.

récolte en graines ; ou, au contraire, la stimuler, même si la dose est double. Le premier cas s'observe lorsque la plante reste longtemps sous de hautes températures pendant la formation des organes reproducteurs ; le second cas se produit, si les plantes, au contraire, restent pendant ce temps sous des températures basses.

Ces faits montrent l'action semblable du bore et des basses températures sur l'abolition des conditions anormales dans la vie des plantes qui ont reçu de hautes doses de chaux. Ils donnent une preuve nouvelle de la moindre nécessité de bore chez la plante sous de basses températures. Les recherches de M. M. Steklova (1956) ont montré que le fer peut éliminer, de la même manière que le bore, les modifications de croissance et de développement des plantes dans les conditions de hautes doses de chaux ; ceci souligne la ressemblance dans l'action de ces éléments sur le métabolisme.

En outre, N. V. Kovalieva et M. J. Chkolnik (1954), M. J. Chkolnik et M.M. Steklova (1954) et M. J. Chkolnik (1955) ont constaté que le magnésium, le fer, H₂O₂ et MnO₂, qui diminuent les effets défavorables provoqués par un manque de bore et retardent les symptômes de ce manque, peuvent agir d'une certaine manière, assez semblable à celle du bore, sur la direction des processus oxydo-réducteurs. Comme le bore, ces éléments augmentent l'activité des tissus dans les processus réducteurs de l'iode, le contenu de la forme réduite de l'acide ascorbique, l'activité des déshy-

drases et des catalases et diminuent l'activité de certains ferments oxydateurs (Tableau VI tiré de la publication de N. V. Kovalieva et M. J. Chkolnik 1954).

TABLEAU VI

Influence du bore, du magnésium, du fer et de MnO_2 sur l'activité réductrice de l'iode des tissus, sur le contenu en acide ascorbique et sur l'activité des ferments oxydo-réducteurs du lin.

Traitements	Activité réductrice de l'iode chez les tissus en ml. 0,005 N d'iode sur 100 g. de poids frais chez une plante de 34 jours		Contenu de la forme réduite d'acide ascorbique en mg. sur 100 g. de poids frais	Activité de la catalase, ml. de dégagement d'oxygène sur 0,5 g. de poids frais des feuilles chez une plante de 38 jours.	Activité de peroxydase en ml. 0,01 N KI_3 sur 1 g. de poids frais des feuilles d'une plante de 42 jours.
	Feuilles	Racines			
Bore pendant toute la période	153,0	83,0	4,9	3,6	2,3
Exclusion du bore (après 15 jours contrôle)	102,6	30,0	2,6	4,0	3,8
Le même + 4 normes de Mg	187,2	69,0	4,7	7,2	1,7
Le même + 4 normes Fe	172,2	91,6	4,4	8,1	1,5
Le même + MnO_2	140,2	69,4	21,3	17,3	1,9

Dans d'autres expériences de N. V. Kovalieva (1953) et dans la publication de Chkolnik (1955 b) le magnésium et le fer ont diminué, de même que le bore, l'activité des polyphénol oxydases et l'intensité de la respiration. Il faut remarquer que dans certaines expériences de N. V. Kovalieva (1953) a été observée non pas une diminution, mais une augmentation de l'activité des peroxydases sous l'influence du fer.

Les données indiquées montrent, qu'à côté du phénomène d'antagonisme des ions, se manifeste encore un phénomène d'action semblable des éléments minéraux sur le métabolisme.

Partant des données obtenues au sujet de l'influence positive du bore sur la synthèse et le transport des carbohydrates (Chkolnik, Makarova et Steklova, 1947 ; Chkolnik, Makarova, Steklova et Evstafeeva, 1956), nous avons considéré aussi important d'étudier l'influence, sur ces processus, du bore et des conditions écologiques qui diminuent ou augmentent les besoins de la plante en bore.

Nous avons émis l'hypothèse (Chkolnik, 1955) que, à la suite de l'augmentation des besoins en bore provoquée par l'action de hautes températures, ainsi que de fortes doses d'azote et de chaux, on peut observer des troubles et des désordres dans la synthèse et surtout le transport des carbohydrates, surtout du saccharose ; ces désordres peuvent être corrigés par l'addition de bore. Sous l'action de hautes doses de magnésium, de fer, de H_2O_2 , de MnO_2 qui diminuent les besoins en bore, on peut observer

TABLEAU VII

Influence du bore et du fer à diverses doses de chaux (CaCO_3) sur le contenu de différentes formes de carbohydrate chez des plantes de lin âgées de 50 jours (en % du poids sec)

Treatments	Feuilles	Tiges		Racines		Somme générale des carbohydrates dans toute la plante
		Fraction de maltose	Saccharose	Fraction de maltose	Amidon	
NPK	1,6	1,6	1,1	3,5	7,8	1,3
NPK + CaCO ₃ p. 1/8 a. h.	1,7	0,9	1,0	2,4	6,0	1,5
- + B	1,9	1,0	1,4	3,5	7,8	1,5
- + Fe	1,5	1,1	1,2	1,3	5,1	1,6
NPK + CaCO ₃ p. 1 a. h.	0,8	1,2	1,7	1,1	4,8	1,0
- + B	1,5	1,4	2,1	1,7	6,7	1,4
- + Fe	1,0	1,1	2,1	0,5	4,7	1,5

1) H_2 = acidité hydrolytique.

une amélioration dans la synthèse et le transport des carbohydrates, surtout du saccharose, identique à celle provoquée par le bore.

Cette hypothèse est confirmée par le tableau VII (Steklova, 1956, B) le Tableau VIII (Chkolnik et Grechistcheva, 1957), le Tableau IX (Chkolnik, Steklova et Solovjeva, 1957) et par la publication de Y. A. Chougare (1956).

Comme on le voit sur le tableau VII, le contenu général des carbohydrates diminue sensiblement dans toute la plante sous l'influence des deux doses de chaux. Le bore, ainsi que le fer (ce dernier agissant de la même manière, mais plus faiblement) augmentent pour les deux doses de chaux le contenu général des carbohydrates dans la plante et surtout celui du saccharose dans les racines, ce qui indique l'amélioration du transport de ce dernier sous l'influence de ces éléments.

TABLEAU VIII

Influence de différentes doses de chaux et de bore sur le transport des substances assimilées chez la betterave sucrière

Traitements	Contenu de C ¹⁴ dans la feuille après 24 heures en % de son introduction initiale				Contenu de C ¹⁴ dans les racines après 24 heures en % de son introduction initiale dans la feuille			
	3/VIII	17/VIII	19/VIII	24/VIII	3/VIII	17/VIII	19/VIII	24/VIII
Contrôle	59,20	42,46	40,22	38,84	6,82	12,78	14,38	15,09
Dose optimale de chaux ..	53,20	34,58	40,88	33,10	10,00	18,12	15,90	19,40
La même + bore.....	56,28	44,19	37,20	38,67	14,20	12,63	17,79	20,22
Haute dose de chaux	54,75	40,87	39,64	39,14	11,33	7,14	12,40	13,37
La même + bore.....	50,00	45,27	39,90	40,25	12,27	10,29	13,40	16,15

Ces données ont été confirmées par les expériences de M. J. Chkolnik et V. I. Grechistcheva (1957) qui ont étudié, à l'aide des atomes marqués, l'influence de différentes doses de chaux et de bore sur le transport des substances assimilées.

Ces données montrent que la dose optimale de chaux améliore le transport des substances assimilées aux racines. Le bore donne, sauf un seul cas, une augmentation supplémentaire. Une haute dose de chaux affaiblit dans tous les cas le transport des substances assimilées aux racines ; le bore corrige en grande partie l'influence pernicieuse des hautes doses de chaux.

En étudiant les données du tableau VIII, nous voyons que le 3 août, quand la température était plus haute que le 17 et le 19 août, la perte des substances assimilées a été amoindrie, ce qui explique la cause de la plus grande nécessité en bore, dans les conditions de hautes températures. Nos données montrant que les difficultés dans le transport des substances assimilées augmentent lorsque la température monte, correspondent aux données analogues de Went (1953).

Les données de M. M. Steklova, N. V. Kovalieva, M. J. Chkolnik et V. N. Grechistcheva concernant l'antagonisme du bore et des hautes doses de chaux dans leur influence sur les processus oxydo-réducteurs et sur la synthèse et le transport du saccharose, montrent l'insuffisance des hypothèses, qui ne considèrent les causes de l'influence nettement positive du bore par rapport à la chaux, que seulement comme des processus du sol : liaison chimique ou biologique du bore ou inaccessibilité des combinaisons bore-organiques dans un milieu alcalin (Abatourova 1936 ; Bobko, Matveeva, Filippov et Roubacheva 1937, Katalymov 1948). M. J. Chkolnik, M. M. Steklova et E. A. Solojeva (1957) ont montré qu'il faut chercher l'une des causes de la capacité de H_2O_2 et MnO_2 de compenser en partie l'insuffisance du bore dans l'action semblable du bore, de H_2O_2 et MnO_2 sur le transport des carbohydrates, et en premier lieu du saccharose (Tableau IX).

TABLEAU IX

Influence du bore, de H_2O_2 et de MnO_2 sur le métabolisme des carbohydrates de la plante d'orge

(Les plantes ont été prises pour l'analyse à 6 h. 45 du matin)

Traitements	Monose	Saccharose	Fraction de maltose	Amidon	Hemicellulose	Somme génér. des carbohydrates
<i>Feuilles</i>						
Mélange nutritif de Knop sans bore (contrôle).....	1,13	1,24	0,28	0,41	4,78	7,84
Le même + bore	1,14	1,25	0,14	0,33	5,40	8,26
Le même + H_2O_2	1,03	1,17	0,13	0,21	5,53	8,07
Le même + MnO_2	1,29	0,65	0,26	0,20	5,29	7,79
<i>Tiges</i>						
Mélange nutritif de Knop sans bore (contrôle).....	1,11	0,68	0,54	1,11	8,14	11,88
Le même + bore	1,04	0,91	0,30	0,89	7,67	10,81
Le même + H_2O_2	1,11	1,44	0	0,88	8,85	12,28
Le même + MnO_2	1,17	0,94	0	0,94	8,56	11,61
<i>Racines</i>						
Mélange nutritif de Knop sans bore (contrôle).....	0,64	1,68	0,15	0,46	9,99	12,92
Le même + bore	1,17	3,12	0	0,25	8,11	12,92
Le même + H_2O_2	1,28	3,86	0,36	0,28	7,86	13,64
Le même + MnO_2	1,44	4,67	0,42	0,32	12,96	19,81

Les données du tableau IX montrent que H_2O_2 et MnO_2 , de même que le bore, améliorent la synthèse et le transport du saccharose des feuilles aux tiges et aux racines.

La publication de Chougare (1956), récemment parue, montre que le magnésium favorise l'énergie de synthèse des sucres des monosaccharoses et améliore le transport du saccharose des feuilles aux autres organes de la plante. Ces données indiquent une action semblable du magnésium et du bore sur le métabolisme des carbohydrates.

Les données obtenues par V. P. Bogenko (1956) à propos de l'influence du pH du sol, sur la synthèse et le transport des carbohydrates (Tableau X) ont permis de comprendre les raisons du fait constaté par A. M. Smirnov (1930), Mes (1930) et Rehm (1937) concernant l'augmentation de la nécessité en bore chez la plante dans les cas du pH faibles.

TABLEAU X

Contenu de différentes formes de carbohydrates en automne (31/VIII) dans les racines du *Trifolium pratense*, cultivé à différents pH du sol.

	Monoses	Saccharose	Fraction de maltose	Amidon	Somme génér. des carbohydrates	Monoses	Saccharose	Fraction de maltose	Amidon	Somme génér. des carbohydrates
<i>pH 5,4</i>										
<i>Partie aérienne</i>										
Contrôle sans bore ...	2,77	0,88	1,17	3,21	8,03	5,18	0,40	1,17	7,73	14,43
Nutrition foliaire par le bore	3,80	0,61	1,46	2,57	8,45	4,86	1,08	1,46	10,43	17,83
<i>Racines</i>										
<i>pH 6,0</i>										
Contrôle sans bore ...	0,59	0,84	0,70	0,96	3,10	4,80	0,51	4,34	9,18	18,34
Nutrition foliaire par le bore	1,28	0,1	0,44	1,21	3,75	5,97	0,80	6,71	10,45	23,93

Comme on le voit d'après les données indiquées, en automne sous un pH plus bas (5,4) le contenu des carbohydrates est plus grand dans les feuilles et plus bas dans les racines que sous un pH plus haut (6,0). Quant au bore, il améliore dans les deux cas le transport des carbohydrates aux racines.

Les données obtenues concernant le rôle important du bore dans le transport des carbohydrates, en premier lieu du saccharose, ont aussi permis de comprendre les raisons de l'impossibilité, constatée par M. J. Chkolnik (1935), de la croissance du système radiculaire en cas de manque en bore. Ce fait peut être expliqué par la grande importance du bore dans la synthèse et le transport du saccharose, car l'importance de ce dernier pour la formation des racines est bien connue (Street A. Mc. Gregory, 1952; Torrey 1954 et d'autres).

M. J. Chkolnik, N. A. Makarova, M.M. Steklova et L. N. Evstafieva (1956) sont aussi arrivés à montrer qu'une des causes principales de l'importance spéciale du bore dans les processus de la formation des organes reproductifs, dans la fructification et la formation des fruits, réside dans la capacité du bore d'améliorer le transport du saccharose des feuilles aux organes de reproduction.

Nos données concernant le rôle important du bore dans le métabolisme des carbohydrates sont confirmées par les données déjà citées de Gauch et Dugger (1953), ainsi que par les derniers travaux de Dugger, Humphreys et A. Calhoun (1956) et de Sisler, Dugger et Gauch (1956). De même que nous,

ces auteurs supposent que l'amélioration dans le transport des carbohydrates, obtenue sous l'influence du bore, s'explique par la capacité de ce dernier de donner des combinaisons complexes avec les sucres, complexes qui posséderaient une plus grande mobilité.

De nouvelles recherches sont nécessaires pour élucider la question de l'influence du bore sur le transport du saccharose et les facteurs qui interviennent dans ce phénomène.

Mc. Ilrath et Palser (1956) critiquent l'hypothèse de l'influence du bore sur le transport des carbohydrates; cependant, ils ne la rejettent pas, supposant que le bore occasionne des changements profonds dans le métabolisme de certaines cellules. Ils attirent l'attention sur la découverte faite par Skok (1956), sur le tournesol, au sujet des rapports entre le bore et l'activité cellulaire. Dans les expériences de cet auteur, les plantes qui étaient restées sans bore seulement pendant trois jours, se distinguaient sensiblement par leur réaction envers l'irradiation par les rayons X des plantes qui avaient reçu du bore pendant toute la période. Skog croit que, si le transport des sucres paraît s'accroître sous l'influence du bore, ce phénomène est plutôt en rapport avec l'activité cellulaire qu'avec la formation de complexes borosucres.

Nos données ajoutent des matériaux en faveur de l'hypothèse de l'influence du bore sur la synthèse et le transport des carbohydrates.

Le rôle physiologique du bore est compliqué et ne se limite pas à son influence sur les processus oxydo-réducteurs sur la synthèse et le transport des carbohydrates. Peut-être y a-t-il un rapport entre le grand besoin en bore sous de hautes températures et la capacité du bore d'activer le transport des substances de croissance (Mitchel, Dugger et Gauch 1953). Ce transport, d'après les données de Pilet (1954) diminue avec l'augmentation de température. Maier et Mittmann-Maier (1942) ont constaté chez les tomates une complète absence de substance de croissance dans les cas de manque important en bore. La raison en peut être que le bore augmente, d'après les données de Sheldon, Blue et Albrecht (1951), le contenu en triptophane, qui est le précurseur de l'acide indolacétique chez les plantes — ou bien que le bore diminue (à cause de sa capacité d'activer les capacités réductrices des tissus), la décomposition des auxines, dont le contenu (comme l'ont montré Skoog (1940), E. A. Makarevskaja, A. V. Vassilieva et M. I. Tchrelachvili (1951)), diminue sensiblement dans les cas d'une trop forte capacité oxydatrice des tissus.

Il est nécessaire d'éclaircir l'importance du bore dans la synthèse des albumines. Nous avons déjà émis une hypothèse concernant la signification de sa capacité de former dans cette synthèse des combinaisons complexes avec les sucres ; la synthèse s'y produirait au dépend des sucres et des aminoacides. Selon l'opinion de Wadleigh et Shive (1939), l'insuffisance en bore amoindrit la vitesse d'amination des dérivés des carbohydrates et retarde la synthèse des albumines.

En concluant, nous devons remarquer que les données indiquées, obtenues par notre laboratoire, ont montré que les éléments minéraux, y

inclus les microéléments, se trouvent en état d'action réciproque étroite et constante ; c'est que leur influence sur le métabolisme est parfois antagoniste et parfois semblable. Le problème de l'action réciproque des éléments minéraux dans le métabolisme des plantes est un des principaux problèmes théoriques et pratiques.

A l'heure actuelle, des faits de plus en plus nombreux montrent l'action semblable de certains éléments minéraux ; indiquons comme exemple la publication de Hewitt et Bolle-Jones (1953) signalant des faits de similitude des influences du fer et du potassium, tirés d'expériences sur pomme de terre.

Les faits d'influence semblable de certains éléments minéraux sur le métabolisme des plantes expliquent la cause du manque d'effet complémentaire, souvent observé en cas d'introduction simultanée de deux ou de plusieurs microéléments, tandis que, si on les introduit séparément, on obtient un résultat positif.

En parlant d'une certaine influence semblable des éléments minéraux sur le métabolisme, nous n'amoindrissons aucunement le rôle de l'action spécifique de chaque élément et nous soulignons l'impossibilité de compensation complète chez les plantes supérieures d'un des éléments par un autre. Cependant, chez les plantes inférieures, comme l'ont montré une série de travaux (Builhac 1894 ; Benecke 1912 ; Sapojnikov 1937 ; Hoffmann 1937 et d'autres), un remplacement partiel ou complet est tout à fait possible : par exemple du potassium par le césum ou par le rubidium, du zinc par l'urane, du soufre par le sélénium, etc...

Les découvertes, faites par la chimie des enzymes, permettent de comprendre en grande partie les cas d'influence semblables de certains éléments minéraux sur le métabolisme des plantes ; nous parlons ici des faits qui concernent l'existence d'un groupe considérable de métaux-enzymes, possédant une spécification faiblement exprimée à l'égard des activateurs des métaux. On sait par exemple que la phosphoglucomutase s'active non seulement par le magnésium, mais aussi par Co^{++} , Mn^{++} et Ni^{++} , l'énoïlase peut être activée par Mg^{++} , Mn^{++} et Zn^{++} , l'arginase par Co^{++} , Mn^{++} , Ni^{++} et Fe^{++} , etc... Une grande influence doit être attribuée dans ces cas à la valence des métaux. Tel ou tel élément peut avoir une action semblable à celle d'un autre élément sur un processus physiologique déterminé, non seulement quand il remplace cet élément comme activateur dans le métal-enzyme, mais aussi quand il renforce ou affaiblit, au contraire, l'action de tel ou tel ferment ou de plusieurs ferment.

Nous en arrivons à conclure que la dépendance ou l'action réciproque des éléments minéraux dans le métabolisme des plantes est en grande partie déterminée par leur capacité d'influencer l'action des ferment d'une manière semblable ou, en cas d'antagonisme des ions, d'une manière contraire.

Des faits séparés d'une action semblable des éléments minéraux sur l'activité des ferment avaient été signalés depuis longtemps. En 1913, déjà, S. P. Kostytchev et A. M. Cheloumova avaient trouvé que le zinc

produit une influence spécifique sur la fermentation de l'esprit de vin. Pendant la fermentation, une accumulation en aldéhyde de vinaigre se produisait. On a trouvé que les sels de cadmium produisent le même effet qui est cependant beaucoup plus fort que celui des sels de zinc.

Les éléments minéraux peuvent produire une influence antagoniste ou au contraire, une influence identique non seulement sur les processus oxydo-réducteurs et sur le métabolisme des carbohydrates, mais encore sur la photosynthèse (Pirson 1937, 1939) et sur d'autres processus physiologiques.

Il est certainement nécessaire de continuer l'étude des causes de la variété du besoin en bore chez les plantes, conditionnées par les différences du milieu écologique ; cela nous permettra de mieux comprendre le rôle physiologique du bore. Cependant, on peut déjà dire à présent, que ce qui est le plus important dans ce rôle, c'est probablement son activité dans la synthèse et le transport des carbohydrates et surtout du saccharose.

Les données que nous avons obtenues montrent qu'il faut non seulement considérer et étudier l'action réciproque des éléments minéraux dans le métabolisme, mais encore faire des recherches éco-physiologiques spéciales pour étudier les interdépendances de l'action des éléments minéraux et des autres facteurs écologiques (température, lumière et autres) sur le métabolisme des plantes.

RÉSUMÉ

1. L'article contient des données sur l'augmentation du besoin en bore chez les plantes dans le cas où leur croissance se réalise en présence de fortes doses de chaux et d'azote ; si cette croissance se produit dans des conditions de fortes doses de magnésium ou de fer, ou si l'on ajoute dans le milieu alimentaire du H_2O_2 et du MnO_2 , ce besoin diminue.

2. Il est démontré que l'une des causes du besoin en bore plus grand chez les plantes, dans des conditions de fortes doses de chaux, est l'action antagonique du bore à l'égard des fortes doses de chaux : le bore abolit les déséquilibres dans la direction des processus oxydo-réducteurs, provenant de fortes doses de chaux, surtout les déséquilibres dans la synthèse et le transport du saccharose. L'amoindrissement du besoin en bore chez la plante, sous l'action de H_2O_2 et de MnO_2 a pour cause leur capacité d'influencer ces processus de la même manière que le bore.

3. On arrive à la conclusion qu'il existe, à côté de l'antagonisme des ions, une certaine action semblable des éléments minéraux sur le métabolisme. En étudiant la nutrition des plantes, il est nécessaire de considérer le rapport et l'action réciproques des éléments minéraux dans le métabolisme des plantes.

4. On conclut aussi que H_2O_2 joue un rôle varié dans l'organisme végétal. Il faut joindre aux fonctions déjà connues de H_2O_2 dans l'organisme végétal, son importance dans la régularisation de la direction des processus oxydo-réducteurs et du transport des carbohydrates.

BIBLIOGRAPHIE

(Titres russes traduits)

- ABATOUROVA, E. A. Khim. Soc. Zeml., 5, 1936.
- BENECKE, W. Bau und Leben der Bakterien, 1912.
- BOBKOV, E. V. C. R. du rapport présenté à la conférence sur les micro-éléments. Edition de l'Académie des Sciences de l'U. R. S. S., 1950.
- BOBKOV, E. V. et BELOUSOV, M. A. Khim. Soc. Zeml., 3, 1934.
- BOBKOV, E. V., T. V. MATVEEVA, A. I. PHILIPPPOV et T. D. ROUBACHEVA Collection « Mikrooudobrenia », Ed. Vaskhnil, 1937.
- BOBKOV, E. V. et S. SYVOROTKIN. Khim. Soc. Zeml., 8, 1935.
- BOGENKO, V. P. Rôle du zinc et du molybdène dans l'alimentation du trèfle rouge. Thèse à l'Institut de Botanique Académie des Sciences de l'U. R. S. S., 1955.
- BOGENKO, V. P. Coll. « Microéléments » en agriculture et en médecine. Edition Académie des Sciences de Lettonie, 1956, 167-179, Conférence sur les microéléments, mars 1955.
- BOUSLOVA, E. D. Travaux présentés à la Conférence sur les microéléments, 15-19 mars 1950. Edit. Acad. Sc. U. R. S. S., 1952.
- BUILHAC, R. C. R., 119, 1894.
- CHKOLNIK, M. J. C. R. Académie des Sciences de l'U. R. S. S., 1, 3, 1934.
- CHKOLNIK, M. J. Importance du bore pour les plantes supérieures. Thèse Ed. Académie des Sciences de l'U. R. S. S., 1935.
- CHKOLNIK, M. J. Rôle et importance du bore et autres microéléments dans la vie des plantes. Ed. Académie des Sciences de l'U. R. S. S., 1939.
- CHKOLNIK, M. J. Sovetskaya Botanika, 5-6, 1940.
- CHKOLNIK, M. J. Importance des microéléments dans la vie des plantes et en agriculture. Ed. Académie des Sciences de l'U. R. S. S., 1950.
- CHKOLNIK, M. J. Progrès récents en biologie, 40, 2 (5), 1955 a.
- CHKOLNIK, M. J. Publications de l'Académie des Sciences de l'U. R. S. S., série Biologie, 1, 1955 b.
- CHKOLNIK, M. J. et GRETCHISTCHEVA, V. N. Travaux présentés à la Conférence sur la photosynthèse. Edit. Acad. Sc. U. R. S. S., 1957.
- CHKOLNIK, M. J. et MAKAROVA, N. A. Travaux de l'Institut de Botanique Académie des Sciences de l'U. R. S. S. Série IV, Botanique expérimentale, v. 7, 1950.
- CHKOLNIK, M. J., MAKAROVA, N. A. et STEKLOVA, M. M. Journal de Botanique, 32, 6, 1947.
- CHKOLNIK, M. J., MAKAROVA, N. A. et M. M. STEKLOVA. Travaux de l'Institut de Botanique. Académie des Sciences de l'U. R. S. S., série IV. Botanique expérimentale, v. 8, 1951.
- CHKOLNIK, M. J., MAKAROVA, N. A., STEKLOVA, M. M. et L. N. EVSTAFIEVA. Fisiologia Rastenij (Physiologie végétale), 3, 3, 1956.
- CHKOLNIK, M. J. et M. M. STEKLOVA. C. R. Académie des Sciences de l'U. R. S. S., 77, 1, 1951.
- CHKOLNIK, M. J. et M. M. STEKLOVA. C. R. Académie des Sciences de l'U. R. S. S., 94, 1, 1954.
- CHOURARE, Y. A. Fisiologia Rastenij (Physiologie végétale), 3, 1, 1956.
- DUGGER, W. M., HUMPHREYS Jr and CALHOUN B. Plant Phys., 31, Suppl., 1956.
- GAVRILOVA, D. T. Journal de Botanique de l'U. R. S. S., 20, 1, 1945.
- GAUCH, H. G. and DUGGER, W. M. Plant Physiology, 28, 1953, 457.
- HEWITT, E. J. and BOLLE-JONES J. Journal Hort. Sc., 28, 3, 1953.
- HILL, H. Pomolog. and Fruit growing Soc. Quebec, 42nd Annual Report, 65, 1935.
- HOFFMANN, 1937. Cite G. F. GAUSE Progrès récents en biologie, 22, t. 3 (6), 1946.
- JAKOVLEVA, V. V. Travaux de la Conférence sur les microéléments, 15-19 mars 1950. Ed. Académie des Sciences de l'U. R. S. S., 1952.
- KATALYMOV, M. V. Problème du bore en agronomie « SORENO », t. 5, 1934.
- KATALYMOV, M. V. Importance du bore en agriculture en U. R. S. S., 1948.

- KATALYMOV, M. V. Travaux de la Conférence sur les microéléments, mars 1955, Coll. « Microéléments en agriculture et en médecine ». Ed. Académie des Sciences de Lettonie, 1956.
- KEDROV-ZIKHMANN, O. K. Khim. Soc. Seml., 1, 1936.
- KOSTYCHEV, S. P. et CHELOUMOVA, A. M. Zeit. Phys. Chem., 85, 1913.
- KOVALIEVA, N. V. Action du bore en présence d'autres éléments sur l'alimentation minérale et le métabolisme. Thèse présentée à l'Institut de Botanique, Académie des Sciences de l'U. R. S. S., 1953.
- KOVALIEVA, N. V. et M. J. CHKOLNIK. C. R. de l'Académie des Sciences de l'U. R. S. S., 85, 2, 1952.
- KOVALIEVA, N. V. et CHKOLNIK, M. J. C. R. de l'Académie des Sciences de l'U. R. S. S., 96, 4, 1954.
- MACVICAR R. and BURRIS, R. Arch. of Bioch., 17, 1, 1948.
- MAKAROVA, N. A. et CHKOLNIK, M. J. Volume en souvenir de l'Acémicien H. A. Maksimov Ed. de l'Académie des Sciences de l'U. R. S. S., 1957.
- MAIER und MITTMANN-MAIER. Wein und Rebe (Mainz), 24, 1942.
- MAKAREVSKAJA, E. A., VASILIEVSKAJA, A. V. et TCHIRELACHVILI, M. N. Travaux de l'Institut de Botanique de l'Académie des Sciences de Géorgie, 3, 1949.
- MCILRATH, W. J. et B. PALSER, Bot. Gaz., 118, 1, 1956.
- MES M. G. Phytopath. Z., 2, 1930.
- MIDDLETON J. T., HALL, B. J., WEDDING, R. T. and KENDRICK, J. H. Phytopat., 42, 11, 1948.
- MITCHELL, J. W., DUGGER W. M., GAUGH, H. G. Science, 118, n° 3065, 1953.
- NATANSON, N. E. C. R. de l'Académie des Sciences de l'U. R. S. S., 87, 6, 1952.
- NOVIKOV, V. A. Travaux Vaskhnil, 49, 1936.
- PEIVE, J. V. Khim. Soc. Zeml., 4, 1938.
- PILET, P. E. Revue Gen. Bot., 61, n° 729, 1954.
- PIRSON A. Zeitsch. für Bot., 31, 1937.
- PIRSON A. Planta, 29, 1939.
- REED H. S. Hilgardia, 17, 11, 1947.
- REHM S. Jahrb. Wiss. Bot., 85, 1937.
- SAPOJNICKOV, D. I. Microbiologia, 6, 1937.
- SCHMIDT, E. W. Z. Wirtschaftsgruppe Zuckerind, 87, Techn., T. 1, 1937.
- SHELDON, V. L., BLUE, W. G. and ALBRECHT, W. A. Plant & Soil, 3, 1951.
- SISLER, E. C., DUGGER, W. M. and GAUCH, H. G. Plant Phys., 13, 1956.
- SKOK, J. Plant Phys., 31 Suppl., 1956.
- SKOOG, F. American Journal of Bot., 27, 1940.
- SMIRNOV, A. I. Le bore comme régulateur de la croissance du tabac relative avec la réaction de la solution nutritive et des sources d'azote, Krasnodar, 1930.
- STARTZEEVA, A. V. et VASILIEVA, I. M. « Microéléments en agriculture et en médecine ». Ed. Académie des Sciences de Lettonie, 1956. Conférence sur les microéléments, Mars 1955.
- STEKLOVA, M. M. Action de certains microéléments en diverses proportions du milieu nutritif sur la croissance, la récolte et le métabolisme des végétaux. Thèse Institut de Botanique Académie des Sciences de l'U. R. S. S., 1956.
- STREET, H. E. and McGREGORY, S. M. Ann. of Bot., 16, 1952.
- TORREY, J. G. Plant Physiology, 29, 3, 1954.
- TOURKOVA, N. S. Volume en souvenir de l'Acémicien D. N. Prianichnikov. Ed. Académie des Sciences de l'U. R. S. S., 1950.
- WADLEIGH, C. H. and Shive, J. W. Soil Science, 47, 1939.
- WARINGTON, K. Ann. Bot., 40, 1934.
- WENT, F. W. Plant Phys., 4, 1953.
- VLADIMIROV, A. V. Bases physiologiques de l'emploi des fumures azotées et potassiques Selkhozgiz, 1948.

Observations sur les relations entre la composition minérale de la plante et le rendement

par P. GOUNY

Institut National de la Recherche Agronomique, Paris

INTRODUCTION

L'analyse végétale base de la fertilisation

La recherche des relations existant entre la nutrition minérale et le rendement des plantes cultivées a préoccupé depuis toujours les agronomes. Le but poursuivi est la définition des conditions optimales de nutrition, permettant d'atteindre les rendements maximaux.

Il y a une trentaine d'années Mitscherlich établissait la loi mathématique liant le rendement aux divers facteurs de croissance. Mais dans les conditions naturelles la quantité d'éléments nutritifs, à la disposition de la plante dans le sol, est excessivement difficile à définir.

En effet le seul fait que les racines de la même espèce végétale puissent, suivant les conditions physiques du milieu, explorer un volume de sol plus ou moins grand, introduit déjà un élément de variation important. Mais en outre, les éléments minéraux indispensables à la vie de la plante existent dans le sol sous des formes chimiques variées. Nos connaissances sur le degré d'assimilabilité par la plante de ces diverses formes chimiques sont souvent très superficielles. Il en est de même de nos connaissances sur les lois qui régissent dans le sol les équilibres entre ces diverses formes. Dans ces conditions l'utilisation des lois de Mitscherlich pour l'établissement de la formule de fumure, s'avère difficile.

A l'époque où Mitscherlich étudiait ainsi l'action des facteurs de croissance, Lagatu et Maume, conscients des difficultés rencontrées dans la définition des conditions de milieu, entreprirent l'étude des relations pouvant exister entre la composition minérale de la plante (ou de certains organes de celle-ci) et le rendement. Simultanément en Suède Lundegårdh poursuivait un but analogue.

L'analyse des plantes était pratiquée depuis longtemps déjà, puisque en 1804 de Saussure étudiait la composition minérale des plantes pour

connaître leurs besoins qualitatifs et en 1852 Liebig mesurant les quantités d'éléments minéraux exportés par les récoltes, lançait la théorie de la restitution. Les travaux de Lundegårdh et ceux de Lagatu et de Maume allaient cependant assurer à l'analyse de la plante une vogue nouvelle, avec les concepts de « *triple analyse* » ou de « *diagnostic foliaire* ».

L'objectif de ces auteurs était de rechercher dans la composition minérale de la plante, *une image du milieu extérieur qui représente l'intégrale de tous les facteurs mis en jeu dans la nutrition du végétal*. Ils abandonnaient d'autre part l'analyse de la plante entière, lui substituant l'analyse de la feuille. La plasticité de composition chimique de celle-ci la rend en effet particulièrement sensible aux variations de conditions de milieu, et dans le cas des plantes perennes, la prise d'échantillon se trouve facilitée.

Cette méthode de travail connut un succès certain. Dans toutes les parties du monde, elle fut utilisée, avec de légères variantes, pour le contrôle de l'alimentation minérale des espèces végétales les plus variées (2-9-15-28-34). Le but poursuivi est de déterminer la composition minérale des plantes fournissant les rendements les plus élevés. Par comparaison on établit ensuite la fumure des cultures ne répondant pas à ces normes.

Il ne semble pas cependant que l'influence exercée sur le rendement par l'apport d'éléments fertilisants dans le milieu extérieur puisse toujours être prévue par les modifications relevées dans la composition minérale de la plante. C'est ainsi que de nombreux essais de fertilisation (8) nous ont souvent permis d'observer d'importantes différences de rendement sans relation avec cette composition minérale. La corrélation ne se trouve rétablie, entre les indications données par l'analyse et le rendement, que lorsqu'on approche les niveaux de carence.

D'autre part lors du VIII^e Congrès International Botanique en 1954, on a pu voir des auteurs aussi avertis que Steenbjerg (33) ou Lundegårdh (25) attirer l'attention sur la prudence avec laquelle les résultats de l'analyse végétale doivent être interprétés.

Cependant les difficultés d'emploi de ces méthodes de travail ne semblent pas avoir été aperçues par des nombreux utilisateurs. Dans de nombreux travaux d'orientation phytotechnique, l'exploitation des résultats fournis par le « *diagnostic foliaire* » s'avère ainsi souvent décevante. Il s'établit d'autre part une confusion regrettable entre les méthodes cherchant à relier le rendement à la composition minérale de la plante et les études de nutrition minérale pour lesquelles l'analyse de la plante demeure le principal moyen d'investigation.

Cet ensemble de faits nous a conduits à examiner dans quelle mesure l'*analyse végétale peut servir de base à une politique de fertilisation rationnelle*. Notre étude se limitera à ce seul aspect des possibilités offertes par l'analyse végétale. Les possibilités qu'elle offre pour le diagnostic des maladies de carence ne seront pas examinées ici, si ce n'est dans la mesure où ce problème rejoint celui de la fertilisation.

Nous examinerons d'abord l'évolution des idées au cours des trente dernières années, en étudiant les conclusions des principaux auteurs qui

ont prôné l'analyse végétale comme base essentielle de la fertilisation. Dans une deuxième partie nous étudierons les principales difficultés qui, à notre avis, peuvent rendre délicate l'interprétation des résultats fournis par l'analyse végétale.

PREMIÈRE PARTIE

Divers modes d'interprétation de l'analyse et évolution des idées

A) LE DIAGNOSTIC FOLIAIRE

Les premiers travaux de Lagatu et Maume sur la composition minérale des feuilles de vigne, remontent à 1924 (18). En 1930, ces mêmes auteurs (19) définissent le « diagnostic foliaire à un instant donné » comme l'état chimique à l'instant considéré d'une feuille prise en place convenablement choisie. Le « diagnostic foliaire annuel » est constitué par la série des états chimiques de cette feuille à diverses époques réparties sur tout le cycle végétatif.

L'originalité essentielle de la méthode réside, d'après les auteurs, dans l'observation continue d'un organe en croissance et plus exactement d'une feuille en place déterminée, au lieu de l'analyse de la plante entière ou d'un ensemble d'organes. L'observation de la feuille ainsi choisie, tout au long de son existence, fournit un aperçu de la dynamique de l'alimentation minérale de la plante entière au cours de la même période.

Ces mêmes auteurs observent que le taux des éléments N P K dans la feuille diminue au cours de son vieillissement, du fait de la migration de ces trois éléments vers les organes en croissance pour l'élaboration des tissus nouveaux. Ils sont ainsi conduits à limiter dans de nombreux cas, le diagnostic foliaire à la détermination des seuls éléments N P K. Ils représentent l'alimentation minérale de la plante par la somme des taux N + P₂O₅ + K₂O (20). Dans leurs conditions expérimentales, ils observent une corrélation satisfaisante entre le développement des plantes cultivées (pommes de terre et vigne) et l'alimentation globale ainsi définie.

Il est cependant nécessaire qu'un rapport optimum existe entre les taux des trois éléments N P K. La balance entre ces trois éléments représente ainsi la « qualité de la nutrition » par opposition à l'« alimentation globale » qui représente la quantité.

Les conceptions de Lagatu et Maume devaient connaître un grand succès. Nous signalerons seulement leur vulgarisation aux Etats-Unis par Thomas (34). Conjointement avec les travaux de Lundegårdh, leurs recherches attirèrent de nouveau l'attention sur l'analyse végétale et la relation entre la concentration en éléments minéraux et la croissance.

B) LA TRIPLE ANALYSE

En expérimentant sur céréales Lundegårdh (24) observe également une corrélation entre la concentration intérieure en éléments minéraux et la croissance. Dès 1934, cet auteur mettait au point, sous le nom de « Triple analyse » une technique d'étude basée sur l'« examen analytique » : 1) du sol, 2) du sous-sol, 3) du végétal. Cette technique devait évoluer rapidement pour se limiter à la seule analyse du végétal.

L'organe généralement choisi pour les analyses de tissus végétaux est la feuille. La feuille est en effet le siège principal de la photosynthèse et de l'élaboration de la matière végétale. Or la photosynthèse nécessite une alimentation azotée suffisante en raison des interactions entre les métabolismes carbonés et azotés. Elle exige également la présence de certains ions minéraux. On peut ainsi considérer assez schématiquement, la synthèse de la matière végétale liée à la concentration en éléments minéraux. Dans ses expériences Lundegårdh montre en effet l'existence d'une relation quantitative entre le niveau d'accumulation des éléments minéraux N P K Ca et la croissance.

Mais en 1954 Lundegårdh (25) fait toutefois observer que nos connaissances sur la nature des processus biochimiques en jeu dans la feuille, ainsi que dans le transport des métabolites depuis la feuille jusqu'aux organes de croissance sont encore très mal connus. D'autre part en ce qui concerne les éléments mineurs il est possible que les systèmes enzymatiques dans lesquels ils interviennent agissent dans les tissus méristématiques et non dans les feuilles.

Enfin Lundegårdh fait remarquer que le problème des relations quantitatives existant entre le taux d'un élément dans la plante et la croissance, n'a pas jusqu'à ce jour fait l'objet d'études comparables à celles entreprises pour les processus d'absorption et de transport des éléments minéraux. L'intervention des hormones et des substances de croissance introduit d'ailleurs un facteur de complexité. En fait le problème n'a été abordé que d'un point de vue essentiellement pratique, c'est-à-dire empirique.

C) LA NOTION DE NIVEAU CRITIQUE

En 1941 Chapman (6) considère que la relation entre la composition de la feuille et le rendement suit la loi du minimum de Liebig, la notion de balance et de qualité de la nutrition n'intervenant qu'accessoirement.

C'est la notion du niveau critique déjà énoncée par Macy en 1936, reprise ensuite par Ulrich (36). Le niveau critique est la concentration au-dessous de laquelle le rendement commence à décroître. Au-dessous de ce niveau critique une augmentation du taux de l'élément s'accompagne d'une augmentation de rendement. Au-dessus du niveau critique il y a consommation de luxe.

L'influence des conditions de milieu, (sol, climat, traitement, etc...) sur la valeur du niveau critique pour chaque élément serait faible. Le

niveau critique varie suivant l'organe analysé et suivant la date de prélèvement. Mais la teneur en un élément, prise à un instant donné, intègre toute l'alimentation en cet élément avant la date de prélèvement.

D'après Ulrich des plantes de composition chimique très différentes peuvent fournir des rendements voisins, dans la mesure où les teneurs des divers éléments sont au-dessus des niveaux critiques. Lorsqu'un seul élément est au-dessous du niveau critique, le rendement est proportionnel au taux de l'élément considéré. Mais tandis que Macy indiquait que le niveau critique pour un élément déterminé est indépendant des autres éléments, Ulrich ne rejette pas complètement la notion de balance et admet qu'elle joue lorsque plusieurs éléments sont au voisinage du niveau critique.

La méthode Ulrich a été utilisée par Goodall et Gregory (11) qui reconnaissent toutefois que le rendement ne peut être fonction du taux d'un seul élément minéral que dans des limites étroites. En fait lorsque les variations de taux sont grandes, la balance entre éléments doit être prise en considération.

Enfin, et c'est là un point important, Goodall et Gregory admettent que la relation entre la composition chimique des tissus végétaux et le rendement peut être affectée par des facteurs externes : température, lumière et approvisionnement en eau. Ces mêmes auteurs ont d'ailleurs procédé à une analyse approfondie des possibilités de l'analyse végétale et rassemblé les résultats obtenus par divers chercheurs sur les plantes les plus variées. Ils critiquent toutefois les interprétations basées uniquement sur les études des rapports nutritifs.

En 1952, cependant A. Ulrich (37) pouvait faire remarquer que si les méthodes analytiques utilisées dans les analyses de plantes avaient fait de grands progrès, il n'en était pas de même de l'interprétation des résultats ainsi obtenus. Il attire alors l'attention sur le fait que *la corrélation entre l'analyse de la plante et la croissance, ne vaut que pour la croissance mesurée au moment où a été faite la prise d'échantillons pour l'analyse.*

D) COURBES DE RENDEMENT EN FONCTION DE LA CONCENTRATION MINÉRALE

Certains auteurs ont cherché à matérialiser la relation éventuelle entre la croissance et les concentrations en éléments minéraux par une courbe.

Lundegårdh en 1954, signale que la relation liant le rendement à la concentration d'un élément déterminé peut être représentée par une courbe de type convexe traduisant une forte action dans la zone des concentrations les plus faibles et une action moindre dans la zone des concentrations élevées. Dans des cas particuliers, ces courbes ont pu être tracées pour certains éléments, les autres étant maintenus fixés à un niveau suffisant. Mais Lundegårdh remarque cependant que l'interprétation des relations entre le rendement et l'analyse foliaire doit relever de l'expérience et de l'observation et non de développements mathématiques.

Des courbes idéales ont ainsi été tracées par Steenbjerq pour divers

éléments. D'après cet auteur (31) la nutrition minérale de la plante est fonction de quatre groupes de facteurs.

1^o caractères physico-chimiques du sol (y compris approvisionnement en eau).

2^o Nature de la plante cultivée.

3^o Facteurs climatiques (lumière, température, etc....).

4^o Stade de développement de la plante.

Steenbjerg (32) a étudié l'action des éléments nutritifs apportés au milieu, sur la production de matière sèche et sur la composition minérale de la plante.

Si pour un élément nutritif la production de matière sèche en fonction de la quantité d'élément absorbé peut être représentée par une courbe du type 1, le taux de l'élément dans la plante, en fonction de la quantité de matière végétale produite est représenté par une courbe du type 2. Dans

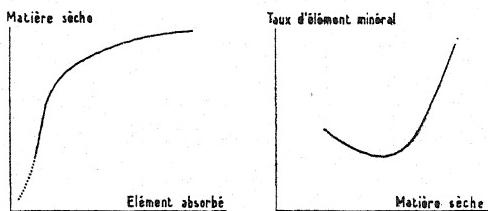


FIG. 1. — Production de matière sèche.

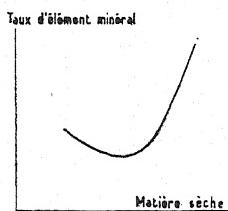


FIG. 2. — Teneur en élément minéral.

la zone des faibles rendements, de larges variations dans la quantité de matière végétale produite, s'accompagnent de faibles fluctuations dans le taux de matière minérale.

Steenbjerg a confirmé expérimentalement ces considérations avec de nom-

breux essais portant sur l'azote et le cuivre. En 1954 cependant, Steenbjerg indique qu'il n'est pas possible d'établir pour un élément donné les niveaux caractérisant une alimentation déficiente ou suffisante (33). Trop de facteurs sont en effet en jeu et la notion même de déficience prête à discussion.

E) LES CARENCES MINÉRALES

Lorsque la déficience en un élément donné est trop marquée on passe du problème de la fertilisation à celui du traitement des maladies de carences. Nous rappellerons très brièvement les conclusions de Trocmé (35) sur les possibilités offertes par l'analyse de la plante dans le diagnostic et l'observation des maladies de carence.

Trocmé indique qu'il n'y a pas lieu d'attacher une importance exclusive aux résultats de l'analyse comparée des plantes. Le fait que des plantes au développement réduit soient plus riches ou sensiblement de même richesse en un élément, que des plantes de meilleur développement, n'affirme pas la possibilité d'une insuffisance de l'alimentation des plantes en cet élément. Inversement le fait de trouver des plantes plus faibles en un élément, ne permet pas de conclure à son insuffisance. L'analyse de la plante doit être associée aux autres méthodes de diagnostic, aucune d'entre elles ne présentant un caractère de certitude absolue.

D'autre part, en reprenant les travaux de Barbier sur la nutrition minérale, Trocmé montre que lorsque l'alimentation en potassium est insuffisante, une fourniture supplémentaire de potassium entraîne une forte augmentation de rendement tandis que le taux de potassium dans la plante varie peu. Ensuite l'augmentation de rendement diminue, tandis que le taux de potassium s'élève considérablement. Il en résulte qu'à des concentrations en potassium très voisines dans la plante, peuvent correspondre des productions de matière sèche très différentes.

Des résultats identiques ressortent des travaux de Barbier et Chabannes (1) sur le bore. Ces diverses observations rejoignent en fait les vues développées par Steenbjerg.

DEUXIÈME PARTIE

Les difficultés d'interprétation de l'analyse végétale et leurs aspects physiologiques

L'objectif assigné à l'analyse foliaire peut se limiter au contrôle de la nutrition minérale d'une plante donnée, placée dans des conditions de milieu déterminées. Mais lorsqu'on demande à l'analyse de servir de base à l'établissement d'une formule de fumure rationnelle, il est nécessaire de connaître la relation éventuelle existant entre la composition minérale de la plante et le rendement. L'évolution des idées depuis les premiers travaux sur le diagnostic foliaire, les réserves émises par de nombreux auteurs, suffisent à révéler l'existence d'un certain nombre de difficultés dans l'interprétation des résultats de l'analyse.

La principale source de ces difficultés réside sans doute dans le fait que l'intervention des éléments minéraux dans la biochimie de la plante est jusqu'à ce jour très mal connue. La quasi-totalité de l'azote, et une fraction seulement de divers autres éléments, phosphore, soufre, magnésium, entrent dans la composition des molécules organiques. Mais en règle générale, on est réduit à des hypothèses quant au rôle joué par les éléments minéraux. Lorsque l'intervention de certains d'entre eux dans des réactions biochimiques a été reconnue, on ignore le plus souvent l'importance de ces processus dans la vie de l'organisme entier.

Dans ces conditions c'est essentiellement guidé par l'empirisme qu'on peut être conduit à formuler l'hypothèse d'une relation entre la composition minérale de la plante et le rendement. Il est inutile d'insister sur cette difficulté fondamentale qui traduit notre ignorance. Mais dans l'état actuel de nos connaissances, la recherche empirique de la composition minérale optimum correspondant au rendement maximum, rencontre un certain nombre de difficultés qu'il est possible d'analyser.

A) MANQUE DE PROPORTIONNALITÉ ENTRE L'ABSORPTION DES ÉLÉMENS MINÉRAUX ET LA CROISSANCE

On a reconnu depuis longtemps que l'absorption des éléments minéraux est beaucoup plus importante dans les premiers temps de la vie de la plante, alors que la croissance est encore ralentie.

Le tableau I, extrait d'un travail de Vincent (38) sur le développement du blé, illustre cette donnée bien classique. Il montre l'absence de parallélisme, entre la croissance végétale et l'absorption des divers éléments, ainsi que l'absence de parallélisme dans l'absorption de ces divers éléments.

TABLEAU I

Rythme de la croissance et de l'absorption des éléments minéraux chez le blé (parties aériennes) (en p. cent du maximum)

	Matière sèche	N	P	K	Ca	Mg
10 mars.....	2,9	10,6	4,5	7,8	5,0	4,9
28 avril	18,6	41,0	25,8	52,5	32,8	32,9
23 mai.....	45,9	57,8	54,4	92,4	57,6	56,3
6 juin.....	57,3	59,0	70,2	96,0	80,9	52,6
1 ^{er} juillet	92,1	71,3	91,8	100,0	100,0	93,3
15 juillet.....	95,4	80,1	96,9	96,6	94,6	100,0
1 ^{er} août	100,0	100	100	93,4	75,4	97,8

Les observations de Vincent ont été faites sur des végétaux placés dans les meilleures conditions de développement. Mais au cours de la vie de la plante la croissance peut, à partir d'une date déterminée, être freinée par une modification des conditions de milieu (conditions climatiques, sécheresse, insuffisance dans l'alimentation azotée). Les éléments minéraux qui ont pénétré dans la plante dans le jeune âge se trouveront alors renfermés dans une quantité plus faible de matière végétale. Il peut ainsi en résulter que les plantes donnant les plus faibles rendements, renferment les taux de matière minérale les plus élevés.

De même Coic (7) a maintes fois attiré l'attention sur le fait que l'azote apporté au moment du tallage des céréales, provoque un besoin ultérieur d'azote. Si ce besoin n'est pas satisfait, on observe chez les plantes ayant reçu une fumure azotée au tallage, un taux d'azote plus faible que chez les plantes-témoin, bien qu'elles fournissent un rendement largement supérieur (tableau II).

TABLEAU II

Evolution du taux d'azote chez le blé en fonction de la fumure (d'après Coic)

Fumure	N = 0 Témoin		N = 30 k5 (Floraison)		N = 30 kg. (Tallage)		N = 60 kg. (1/2 tallage) (1/2 floraison)	
Rendements	17,7 Q*		19,4 Q*		29,6 Q*		32,8 Q*	
Organes analysés	H	B	H	B	H	B	H	B
2 juin.....	1,13	0,41	1,52	0,57	0,97	0,26	1,31	0,38
22 juin.....	0,85	0,35	1,25	0,52	0,49	0,18	0,85	0,33
6 juillet	0,41	0,26	0,55	0,36	0,30	0,18	0,41	0,22
21 juillet	0,32	0,26	0,43	0,37	0,27	0,21	0,35	0,23

B = Bas de tige.
H = Haut de tige.

Dulac cependant (9-10) dans une étude récente sur le diagnostic foliaire des céréales a observé une certaine proportionnalité entre la teneur en Azote des feuilles de blé à la floraison et le rendement. Mais cet auteur indique lui-même qu'il s'agit de « conditions idéales » et que cette proportionnalité peut être masquée par de nombreux facteurs.

Les observations de Coïc sont confirmées par les études de Carles (4) sur la physiologie du blé. Cet auteur développe en effet l'idée d'un taux normal de protides pour chaque partie de la plante et pour chaque période de son existence.

Les conceptions de Coïc et de Carles sont ainsi diamétralement opposées aux hypothèses qui ont servi de base au diagnostic foliaire.

Elles rejoignent partiellement l'opinion de A. Ulrich qui en 1952 indique qu'il y a lieu de confronter l'analyse de la plante, non avec le rendement final, mais avec le développement du végétal mesuré au moment de la prise d'échantillon. A. Ulrich insiste en effet sur le facteur « temps ». Des plantes reconnues déficientes au moment de la prise d'échantillon peuvent cependant au moment de la récolte, contenir des taux convenables d'éléments nutritifs dûs à de meilleures conditions climatiques, une plus grande activité radiculaire, etc... Inversement des plantes reconnues comme bien alimentées lors de l'analyse peuvent se trouver sous-alimentées par la suite.

B) VARIATION JOURNALIÈRE DANS LA COMPOSITION DES FEUILLES

On admet généralement que, pendant le jour, les éléments minéraux absorbés par les racines sont rapidement transportés vers les feuilles par le courant ascendant de sève. Dans les feuilles ces éléments se combinent avec les produits organiques synthétisés. Les combinaisons ainsi formées migrent à leur tour vers les organes d'utilisation ou de réserve.

Il en résulte la possibilité d'une fluctuation diurne dans la teneur en azote et en cendres de la feuille.

L'ampleur et le sens de ces fluctuations peuvent varier suivant l'âge de la feuille ; chez les feuilles jeunes, il y a augmentation du taux d'éléments minéraux et azotés pendant le jour et pendant la nuit. Chez les feuilles mûres il y a augmentation pendant la journée et diminution pendant la nuit. Chez les feuilles âgées il y a diminution de jour et de nuit.

Cet aspect de la question est bien connu et dans le diagnostic foliaire on prélève toujours des feuilles de même âge physiologique.

L'ampleur des variations diurnes chez les feuilles mûres, mérite cependant d'être signalée. Elle est d'autant plus élevée que la transpiration est plus intense. Phillis et Mason (27) l'ont étudié dans le cas particulier du coton. Entre les premières heures du jour et la tombée de la nuit, le taux d'azote peut augmenter de 5 %, celui de P_2O_5 de 10 % et celui des cations de 18 % (feuilles atteignant à peine la maturité), tandis que pendant la nuit la plus grande partie de ces gains est annulée. Le poids de matière sèche de la feuille subit des variations de même sens dont l'amplitude est

de 15 %. Mais le synchronisme n'étant pas obligatoirement parfait entre les substances organiques et les matières minérales, il en résulte obligatoirement des fluctuations journalières très sensibles dans les taux d'éléments minéraux.

C) REDISTRIBUTION DES ÉLÉMENTS A L'INTÉRIEUR DE LA PLANTE

Les variations journalières dans les taux de matière minérale sont le résultat de l'activité métabolique normale. Mais en plus de ces mouvements on assiste au cours de la vie de la plante, à une redistribution des éléments minéraux, liés aux processus de sénescence de certaines parties du végétal et aux besoins qui se font sentir chez les organes végétatifs jeune et chez les organes de reproduction. Le départ des éléments minéraux, avant la chute des feuilles, chez les arbres à feuilles caduques est un exemple bien connu.

La redistribution des éléments minéraux à l'intérieur de la plante, a été étudiée par Williams (39). Cet auteur indique que la teneur en N et P des feuilles est fonction des facteurs suivants :

- 1^o richesse du milieu extérieur en N et P ;
- 2^o vitesse de croissance des feuilles qui limite leur possibilité d'accumulation ;
- 3^o vitesse de croissance des autres organes de la plante (qui affecte l'exportation à partir des feuilles).
- 4^o capacité des racines de prélever les éléments nutritifs à un rythme suffisant pour satisfaire tous les besoins.
- 5^o relation entre la synthèse des protides et l'assimilation chlorophyllienne.
- 6^o action de certains facteurs internes conduisant à une diminution de la synthèse des protides ou à une augmentation de leur vitesse d'hydrolyse.
- 7^o fourniture en éléments nutritifs autres que N et P.

Les expériences sur l'avoine de Williams montrent que les migrations depuis les organes végétatifs vers les inflorescences et les organes de reproduction portent sur une fraction très importante de l'ensemble des matières minérales de la plante. En France, Liwerant (22) a étudié les mouvements des éléments minéraux dans le pêcher, et leur accumulation dans le bourgeon floral au cours de l'hiver.

Nos connaissances générales sur la redistribution et les mouvements des éléments minéraux dans la plante demeurent très réduites. L'importance de ces mouvements et la variété des facteurs en jeu suffisent toutefois à souligner les difficultés du choix de l'organe à analyser et de la date du prélèvement. *Il semble en particulier que l'analyse d'une même feuille, bien que répétée à divers âges de la vie de la plante, peut difficilement fournir un aperçu de la dynamique de l'alimentation minérale de la plante entière au cours de la période considérée.*

Dans le cas des arbres fruitiers, les mouvements de matière minérale vers les fruits ont une ampleur considérable, et la composition minérale de la feuille est fonction de l'importance de la récolte. Caïn et Boynton (3) ont ainsi montré que chez les variétés de pommiers dont l'alternance est assez prononcée, la teneur des feuilles en azote, calcium et magnésium des feuilles est plus élevée les années avec fruit que les années sans fruit, tandis qu'on observe le comportement inverse pour le potassium.

Les observations de Jolivet et Coïc (17) sur le partage des cations K et Mg entre la feuille et le fruit chez le pommier, illustrent bien cette compétition. Chez des arbres sous-alimentés en potassium, la carence potassique se fait sentir uniquement sur les feuilles situées sur les branches chargées en fruits : le taux de potasse s'y abaisse à 0,24 % contre 0,57 ailleurs.

D) INFLUENCE DES FACTEURS INTERNES DE CROISSANCE

Dans les jeunes plantules, la croissance de la plante est fonction de l'activité des seuls tissus méristématiques. Celle-ci demeure conditionnée par les facteurs externes de croissance et notamment par l'approvisionnement en éléments nutritifs.

Mais à mesure que la plante se développe et que les organes se différencient le développement de l'ensemble de l'individu est conditionné par un faisceau de facteurs internes.

Nous rappellerons la périodicité de croissance qu'on observe généralement chez les plantes perennes et chez les plantes bisannuelles, et les phénomènes de corrélation et d'inhibition qui règlent le développement des bourgeons d'un même rameau. Chez les plantes annuelles, on sait que le développement de l'inflorescence (ou son ablation) influence fortement le développement des organes végétatifs et notamment de la feuille.

Le rôle des facteurs ainsi en jeu est souvent encore mal connu. Chez un bourgeon dormant, l'activité des cellules n'est pas suspendue, mais il y a une inaptitude à l'elongation cellulaire qui entraîne l'impossibilité du débourrement.

Du fait des phénomènes de dormance, de corrélation ou d'inhibition de croissance, des organes homologues de deux plantes différentes, peuvent renfermer les mêmes réserves de matière minérale, sans qu'on puisse prévoir un développement parallèle de deux individus. Inversement l'application au végétal de substances de croissance est susceptible de modifier le mouvement dans la plante de certains éléments minéraux (26).

D'autre part Loehwing (23) rapporte que la réponse aux engrains minéraux est différente suivant le stade physiologique du végétal lors de l'application. C'est ainsi qu'une application d'azote lors de la pollinisation entraîne une répartition différente entre les organes végétatifs et fructifères de celle observée chez des plantes maintenues à un niveau constant d'alimentation azotée.

Les observations de Herschberg (16) peuvent être rapprochées des difficultés dues aux phénomènes de corrélation dans l'interprétation de

l'analyse végétale. Cet auteur expérimentant sur agrumes, montre la complexité des relations entre l'apport d'azote, la croissance de l'arbre, le rendement et le pourcentage en azote des feuilles. Il rappelle en outre, qu'en arboriculture fruitière, l'action sur l'appareil végétatif (bien que difficile à mesurer) conditionne les rendements futurs et ne doit pas être perdu de vue.

E) INFLUENCE DES FACTEURS EXTERNES DE CROISSANCE

Un des reproches faits à l'analyse du sol est que son interprétation biologique est délicate car elle néglige des facteurs tels que le temps, l'aération du sol, l'approvisionnement en eau, la température, qui ont leur répercussion sur la pénétration des éléments minéraux dans la plante, alors que l'analyse végétale en tiendrait compte.

Mais certains de ces facteurs agissent également sur l'assimilation chlorophyllienne et cette action est indépendante de celle exercée sur l'absorption des éléments minéraux. Aussi, il n'est pas évident à priori que l'analyse foliaire constitue un meilleur test que l'analyse du sol.

Gregory (14) cite l'exemple de plantes d'orge déficientes en potassium qui, exposées en pleine lumière, demeurent stériles, alors qu'exposées à l'ombre leur développement est normal.

De nombreuses études ont montré qu'il y a d'importantes variations annuelles d'une année à l'autre dans la composition minérale des feuilles de vergers. Ces variations sont dues en partie à l'influence des facteurs climatiques sur l'assimilabilité des éléments du sol et en partie aux effets des conditions climatiques sur la croissance des arbres et l'abondance de la production en fruits.

D'après Proebsting et Brown (29) qui disposent de très nombreux résultats sur arbres fruitiers, l'azote et le potassium seraient particulièrement sensibles à l'action des facteurs climatiques annuels, tandis que les taux de phosphore, calcium et magnésium présenteraient une plus grande stabilité.

Dès 1936, Lagatu et Maume (24) signalaient d'ailleurs l'importance des facteurs climatiques sur la composition minérale des plantes, et indiquaient qu'il était nécessaire de disposer d'un « nombre suffisant d'années d'observations ».

Un des exemples les plus courants de l'influence des facteurs externes est celui provoqué par la sécheresse qui peut induire une concentration minérale plus élevée chez les plantes les moins bien alimentées en eau et présentant le moindre développement.

Enfin l'analyse du végétal peut ne pas révéler l'importance du rôle joué par les facteurs extérieurs sur la pénétration de certains éléments minéraux dans la plante. Cette action peut être particulièrement sensible pour les cations. C'est ainsi que dans les sols humides la pénétration du potassium dans la plante peut se trouver considérablement freinée et que la forte acidité de certains sols tropicaux peut entraîner une chute considé-

rable du taux de cations dans la plante qui peut difficilement être corrigée par un apport de sels neutres. D'autre part, en raison des compétitions ioniques bien connues, une teneur insuffisante en un élément donné, peut être seulement le résultat de la présence en quantité excessive d'un autre élément dans le milieu.

F) IMPORTANCE PARTICULIÈRE DE L'ALIMENTATION AZOTÉE

En étudiant la mobilisation des éléments minéraux lors de la croissance, nous avons déjà attiré l'attention sur le comportement de l'alimentation azotée. La variation d'intensité de l'alimentation azotée peut entraîner diverses singularités dans la composition minérale de la plante. Nous en donnerons quelques exemples.

1^o Action sur la teneur en azote.

Trocmé (35) reprenant les travaux de Burgevin et Guyon a montré que la production de matière végétale obtenue avec des quantités d'azote croissantes, augmente régulièrement, tandis que le taux d'azote renfermé par les plantes à maturité passe par un minimum. Ce taux d'azote minimum ne s'observe d'ailleurs pas chez les plantes jeunes.

Des observations de même sens ont pu être faites par Prevot (28) sur arachide.

2^o Action sur la teneur en autres éléments.

Lundegårdh (25) cite l'exemple bien connu de végétaux sous-alimentés en azote ; la croissance est faible et la teneur en azote de la matière végétale également. Par contre, on peut mesurer des taux élevés pour les autres éléments. Il ne s'en suit pas en ce qui concerne ceux-ci, que le milieu soit suffisamment approvisionné : l'absorption a été faible, mais la production de matière végétale ayant été également plus faible, il en est résulté des concentrations plus élevées.

En sens inverse lorsque l'alimentation azotée devient très large, la croissance est maximum, le taux des autres éléments minéraux dans la matière végétale tend à diminuer. C'est le phénomène de « dilution » signalé par de nombreux auteurs.

3^o Sensibilité des plantes annuelles à la fumure azotée.

Prevot avec l'arachide a pu parfois obtenir avec un apport d'azote extrêmement faible (5 kg. à l'ha) des augmentations de rendement correspondant pour les seules graines d'arachide à des exportations de 35 à 50 kg. d'azote à l'hectare.

L'interprétation de telles observations est délicate parce que celles-ci ont été faites sur légumineuses. Mais il est permis de penser que les modalités d'application de l'apport d'azote (dynamique de l'azote dans le sol et conditions climatiques lors de l'épandage) doivent être prises en considération ; un meilleur départ des jeunes plantules lié à un apport extérieur

d'azote, peut leur permettre ensuite une meilleure utilisation des ressources propres du sol.

4^o Influence du mode de nutrition azotée.

Il n'est pas indifférent pour le développement de la plante que l'alimentation azotée soit assurée sous forme nitrique ou ammoniacale. En milieu non saturé, lorsque la forme ammoniacale est trop importante, on peut observer des troubles du métabolisme liés à une moindre pénétration des cations métalliques dans la plante. Ces troubles peuvent entraîner des insuffisances de rendement que les résultats de l'analyse courante ne permettent pas de prévoir. Nous avons montré que les plantes recevant une alimentation ammoniacale renferment normalement une teneur plus élevée en azote total (13).

5^o Contrôle de l'alimentation azotée par la mesure du taux d'azote nitrique.

Dans la grande majorité des conditions naturelles, c'est cependant sous forme nitrique que les végétaux puisent dans le sol l'azote qui leur est nécessaire. L'azote nitrique n'est pas utilisé immédiatement par la plante et si la fourniture d'azote est large on peut déceler dans la plante, la présence d'azote nitrique en quantités notables.

A. Ulrich a ainsi proposé d'étudier l'alimentation azotée en déterminant l'azote nitrique contenu dans les plantes. Cette technique semble en fait, s'avérer beaucoup plus riche d'enseignements que la détermination de la quantité d'azote total, en ce qui concerne le contrôle de l'alimentation azotée et son incidence sur les rendements.

G) INFLUENCE DE L'ETAT SANITAIRE DES VÉGÉTAUX ÉTUDIÉS

Un dernier point qui mérite d'être signalé est l'incidence de l'état pathologique sur la composition minérale des plantes.

L'importance de cette question a été signalée par Trocmé qui a montré que la présence de parasites sur les divers organes de la plante peut être à l'origine de profondes modifications dans le rapport des éléments entre eux. Le diagnostic des défauts d'alimentation par analyse de plantes ne peut être valable qu'en l'absence de maladies parasitaires.

En étudiant les perturbations du métabolisme de plantes sensibles à la chlorose calcaire, nous avons nous-mêmes (12) montré que la chlorose s'accompagne de profondes modifications de la nutrition minérale. Les sujets chlorotiques dont la croissance est réduite, présentent une teneur très élevée en tous éléments minéraux.

DISCUSSION ET CONCLUSION

Possibilités et limites de l'analyse végétale

Au cours des trente dernières années, un certain nombre d'auteurs ont préconisé l'analyse végétale et plus spécialement l'analyse foliaire

comme base principale de l'Agronomie. L'analyse foliaire représenterait l'intégrale des facteurs qui concourent à la nutrition de la plante et elle indiquerait les principales corrections à apporter au milieu nutritif pour que le végétal fournit le rendement maximum.

Les quelques observations physiologiques, que nous avons passées en revue, montrent en fait, la complexité du problème. Les solutions divergentes proposées pour l'interprétation des résultats de l'analyse en témoignent également.

L'absence de parallélisme très souvent observée, entre la teneur en azote et le rendement constitue certainement un des points faibles des techniques proposées, compte tenu de l'importance jouée par l'alimentation azotée pendant tout le cours de la croissance de la plante. Mais si l'examen du taux d'azote total n'offre que peu d'intérêt, il semble par contre que la connaissance du taux d'azote nitrique, contenu dans la plante à un instant donné, permette souvent d'assurer le contrôle de la nutrition azotée.

En ce qui concerne les autres éléments, l'analyse doit permettre d'indiquer les éléments déficients. Mais pour une espèce donnée il n'est pas possible d'établir des normes absolues universellement applicables, indiquant les niveaux de déficience, d'optimum et d'excès. D'autre part, lorsque l'analyse permet de reconnaître qu'un élément est déficient, elle n'indique pas obligatoirement le correctif à apporter. Il suffit de rappeler le jeu des antagonismes cationiques et l'importance du pH sur l'absorption des cations par la plante.

Cependant pour les éléments autres que l'azote et pour les cultures fruitières notamment, il est possible, dans un milieu pédoclimatique donné, d'avoir quelques normes empiriques d'analyses foliaires qui sans être absolument infaillibles, se révèlent être des guides assez sûrs (30). Mais la définition préalable des conditions de milieu implique alors que l'Agronome dispose d'autres éléments de diagnostic que la seule analyse foliaire.

Si l'analyse foliaire ne permet pas ainsi de fournir des indications de valeur générale pour résoudre les problèmes de fertilisation, elle fournit dans les cas cliniques, des informations précieuses pour le *diagnostic des maladies de carence*. D'autre part l'analyse végétale demeure un *instrument de recherches fondamental dans les études de nutrition minérale*, qu'il s'agisse de travaux de physiologie ou de problèmes plus concrets. Lorsqu'on modifie le milieu nutritif l'analyse des plantes provenant des parcelles traitées et des parcelles témoins, permet en effet de tester l'efficacité des traitements réalisés.

* * *

Pour résoudre le problème agronomique grâce aux seules données de l'analyse végétale, il faudrait d'abord pouvoir relier par une loi suffisamment générale, la croissance ou le rendement à la concentration en éléments minéraux. En admettant qu'une telle équation puisse être établie pour une seule cellule, ou pour une culture de tissus, son extension à la plante entière par l'analyse de tout ou partie de celle-ci demeurera toujours

aléatoire, étant donné les corrélations existant entre les divers organes constituant l'ensemble du végétal.

Ainsi que le rappelle Chouard (5), la plante vivante n'est pas la simple somme de quelques mécanismes. Elle constitue un système complexe dans lequel les différentes « unités physiologiques » interviennent ensemble et réagissent les unes sur les autres de façon compliquée et synergique.

Dans l'état actuel, les services rendus par l'analyse végétale demeurent limités et on ne peut espérer réaliser de progrès dans son utilisation que dans la mesure où nos connaissances physiologiques fondamentales progresseront.

Cependant avec ses difficultés d'interprétation, l'analyse foliaire demeure un instrument valable à la disposition de l'Agronome. Son maniement est délicat et son utilisation ne permet pas de résoudre à elle seule le problème agronomique. Mais ses données viennent étayer les indications fournies par les autres techniques, et concourent ainsi à l'établissement du diagnostic.

BIBLIOGRAPHIE

1. BARBIER, G. et CHABANNES, J. Sur la rétention du Bore dans le sol et ses conséquences agronomiques. C. R. Ac. Agr., 1955, p. 259.
2. BOUAT, A., RENAND, P. et DULAC, J. Etudes sur la physiologie et la nutrition de l'olivier. Ann. Agron., 1953, p. 599.
3. CAIN, J. et BOYNTON, D. Some effects of season, fruit, crop, and nitrogen fertilisation on the mineral composition of the McIntosh apple leaves. Proc. Amer. Soc. Hort. Sc., 1948, 51, p. 13.
4. CARLES, J., La physiologie normale du Blé. Analyse des Plantes et Problèmes des engrains minéraux. VII^e Congrès Internat. de Bot., Paris, 1954, p. 101.
5. CHOUARD, P. Les facteurs du milieu et les mécanismes régulateurs de croissance. XIII^e Internat. Hort. Congr. London, 1952, p. 71.
6. CHAPMAN. — Leaf analysis and Plant nutrition. Soil Sc., 1941, 52, p. 63.
7. COÏC, Y. Contribution à l'étude de la physiologie du blé : la nutrition azotée du blé. Ann. Agron., 1950, p. 195.
8. DROUINEAU, G. et GOUNY, P. Recherches sur la fertilisation. Ann. Agron., 1947 à 1955.
9. DULAC, J. Diagnostic foliaire des céréales. C. R. Ac. Agr., 1956, p. 112.
10. DULAC, J. Diagnostic foliaire des céréales. C. R. Ac. Agr. 1955, p. 328-331.
11. GOODALL, D. W. et GREGORY, F. G. Chemical composition of Plants as an Index of their nutritional Status. Imper. Bureau of Horticulture and Plantation Crops Technical communication 17-1947.
12. GOUNY, P. et MAZOYER, R. M^{me}. Relation entre la nutrition minérale et les symptômes pathologiques dans la chlorose calcaire. Ann. Agron., 1953, p. 561.
13. GOUNY, P. Observations sur les particularités de l'alimentation ammoniacale en l'absence et en présence de calcaire. Ann. Agron., 1955, p. 589.
14. GREGORY, F. G. The control of growth and reproduction by external factors. XIII^e Internat. Hort. Congr., London, 1952, p. 96.
15. HALAIS, P. Nouvelles techniques de diagnostic foliaire au service du redressement alimentaire et de la conduite de la maturation en culture de la canne à sucre. Analyse des plantes et Problème des engrains minéraux. XIII^e Congr. Internat. de Bot., Paris, 1954.
16. HERSCHEBERG, L. Leaf composition in relation to nitrogen and phosphorus requirement of citrus trees in Israël. Analyse des Plantes et Problèmes des Engrais minéraux, p. 191. VIII^e Congr. Internat. de Bot., Paris, 1954.

17. JOLIVET, E. et COIC, Y. Sur une carence potassique du pommier accentuée par une forte mise à fruit ; partage des cations et principalement K et Mg entre la feuille et le fruit. C. R. Ac. Sc., 1954, 238, p. 2251.
18. LAGATU, H. et MAUME, L. Evolution remarquablement régulière de certains rapports physiologiques (chaux, magnésie, potasse) dans les feuilles de la vigne bien alimentée. C. R. Ac. Sc., 1924, 179, p. 782.
19. LAGATU, H. et MAUME, L. Le diagnostic foliaire de la pomme de terre. Ann. Agron., 1930, p. 594.
20. LAGATU, H. et MAUME, L. Etude critique du diagnostic foliaire. C. R. Ac. Agr., 1934, p. 248.
21. LAGATU, H. et MAUME, L. Sur la possibilité de variations de sens opposé et de grande amplitude au cours d'une même année pour l'équilibre N K P chez la feuille d'une plante cultivée. C. R. Ac. Sc., 1936, p. 1550.
22. LIWERANT, J. Contribution à l'étude de la nutrition minérale du pêcher. Ann. Agron., 1948, p. 589.
23. LOEHWING, W. F. Mineral Nutrition in Relation to the ontogeny of plants. Mineral Nutrition pf Plants. The University of Wisconsin Press, 1951.
24. LUNDEGARDH, H. Leaf analysis (translation by R. L. Mitchel) Hilger et Watte, London, 1951.
25. LUNDEGARDH, H. Physiological aspects on tissue analysis as a guide to soil fertility. Analyse des Plantes et Problèmes des Engrais minéraux, p. 1, VIII^e Congr. Internat. de Bot., Paris, 1954.
26. MITCHELL, J. W. Translocation of growth regulating substances and their effect on tissue composition. Plant Growth substances. University of Wisconsin Press, 1951.
27. PHILLIS, E. et MASON, T. G. On diurnal variation in the mineral content of the leaf the cotton plant. Ann. of Botany, 1942, VI, p. 437.
28. PREVOT, P. et OLLAGNIER, M. Diagnostic foliaire du palmier à huile et de l'arachide Analyse des Plantes et Problèmes des engrais minéraux, p. 239, VIII^e Congr. Internat. Bot., Paris, 1954.
29. PROEBSTING, E. L. and BROWN, J. G. Leaf analysis of differentially covercropped deciduous fruit trees. Hilgardia (University of California), 1954-23, p. 125.
30. REUTHER, W. et SMITH, P. Leaf analysis as a guide to the nutritional status of orchard trees. Analyse des Plantes et Problèmes des Engrais minéraux, p. 166, VIII^e Congr. Internat. de Bot., Paris, 1954.
31. STEENBJERG, F. Yield curves and chemical plant analysis. Plant and Soil, 1951, III, p. 97.
32. STEENBJERG, F. Manuring Plant production and the Chemical composition of the plant. Plant and soil, 1955, V, p. 226.
33. STEENBJERG, F. Manuring and Plant Production. Analyses des Plantes et Problèmes des engrais minéraux, p. 31, VIII^e Congr. Internat. de Bot., Paris, 1954.
34. THOMAS, W. Foliar Diagnosis : Principles and practice. Plant Physiol., 1937, 12, p. 597.
35. TROCMÉ, S. Quelques exemples de contribution de l'analyse des plantes au diagnostic des insuffisances de production des cultures. Analyse des Plantes et Problèmes des engrais minéraux, p. 111, VIII^e Congr. Internat. de Bot., Paris, 1954.
36. ULRICH, A. Plant analysis as diagnostic procedure. Soil Sc., 1943-55, p. 102.
37. ULRICH, A. Physiological bases for assessing the nutritional requirements of plants. Ann. Rev. of Pl. Phys. 1952, 3, p. 207.
38. VINCENT, HERVIAUX et SARAZIN. Etude sur le développement d'un blé à grand rendement. Ann. Agron., 1933, p. 675.
39. WILLIAMS (R. F.). Redistribution of mineral elements during development. Ann. Rev. of Plant Phys., 1955, VI, p. 25.

Some aspects of the relationships of nutrient supply to nutrient uptake and growth of plants as revealed from nutrient culture experiments

E. J. HEWITT

Agricultural Research Council Unit of Plant Nutrition (Micronutrients)
University of Bristol, Long Ashton Research Station, England

The relationships between nutrient supply, and plant growth and mineral composition are of especial interest in formulating fertiliser needs. The fundamental problems involved are however not always easily studied under field conditions or in soil cultures. This paper discusses certain relationships between plant nutrient uptake and supply which may be inferred from results of culture experiments. This approach eliminates many sources of uncontrolled variation inherent in the use of soil experiments. Aeration, temperature, light, ionic concentrations or proportions may all be controlled. The nutrient supply can be specified with some precision down to very low levels but variation in the level of any one ion can only be achieved in combination with parallel or opposite variation in the levels of one or more ions of opposite or similar charge respectively. Diverse tissues, including micro-organisms, cultured excised tissues and entire higher plants may be used, and thus provide the opportunity to examine whether the relationships observed are of general significance.

The effects of external supply of individual elements on growth and composition may be considered in several respects, including the following :

- (i) The effect of external nutrient supply on yield.
- (ii) The relation between external nutrient supply and the concentration of selected elements within the plant.
- (iii) Relationships between internal concentration and yield.
- (iv) The effect of nutrient supply on total nutrient uptake by the plant, and its relationship to yield.

I. RELATION OF EXTERNAL NUTRIENT SUPPLY TO YIELD

Experiments, in which the increment of yield of a plant growing in a soil, due to the addition of a known amount of a deficient nutrient is measured, have revealed that mathematically defined relationships exist bet-

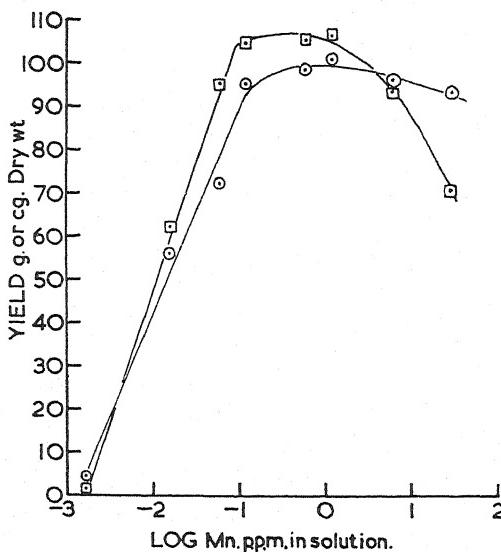


FIG. 1.—Yield curves for manganese in tomato in sand culture
 ○ Dry wt. cg.; plants aged 5 weeks; □ Dry wt. g.; plants aged 18 weeks (Unpublished data E. J. Hewitt).

ween such yield increments and the added nutrients. Their formulation from the time of Mitscherlich has been fully discussed by Stewart (13) and more recently by Goodall & Gregory (3). The relationships, which are derived from effects of nutrient additions to an unknown initial level, have been represented as exponential functions of asymptotic or parabolic nature. In culture experiments, often using highly purified or inert materials (7), it has been possible to estimate the minimum "or nil" levels with some precision, and this has permitted quantitative specification of the whole range of nutrient concentrations used.

Some examples are shown in Figs. 1 to 5 for different higher plants. It is seen that over a certain range there is generally a linear relationship between yield expressed arithmetically and the logarithm of the external concentration available to the plants during the whole of the growth period. Fig. 1 shows that this relationship holds for the manganese nutrition of tomato plants aged 5

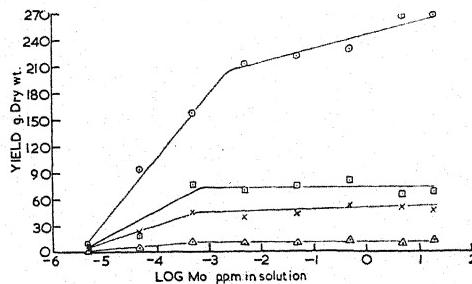


FIG. 2.—Yield curves for molybdenum in cauliflower in sand culture, g. Dry wt.
 ○ 180 days high NO₃; □ 180 days low NO₃.
 × 90 days high NO₃; ▲ 90 days low NO₃.
 (Agarwala and Hewitt 1954).

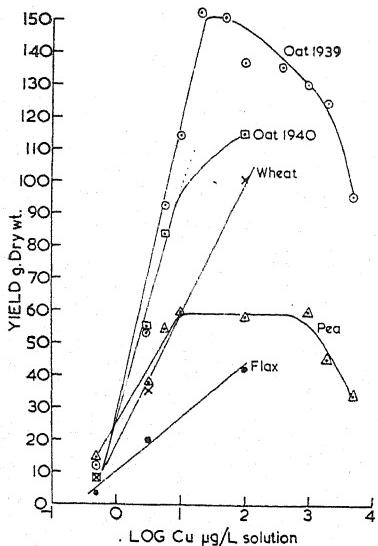


FIG. 3. — Yield curves for copper in several crops in water culture, g. Dry wt.

(From data of Piper 1942).

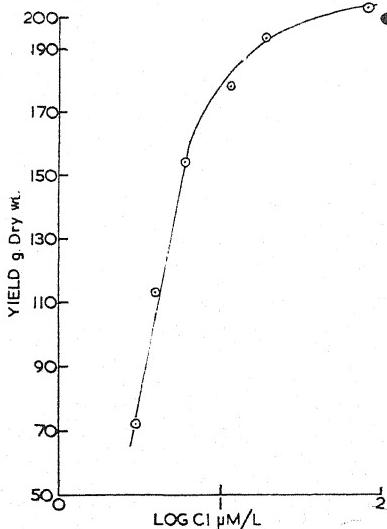


FIG. 4. — Yield curve for chlorine in tomato, g. Dry wt. (From data of Broyer, Carlton, Johnson and Stout 1954).

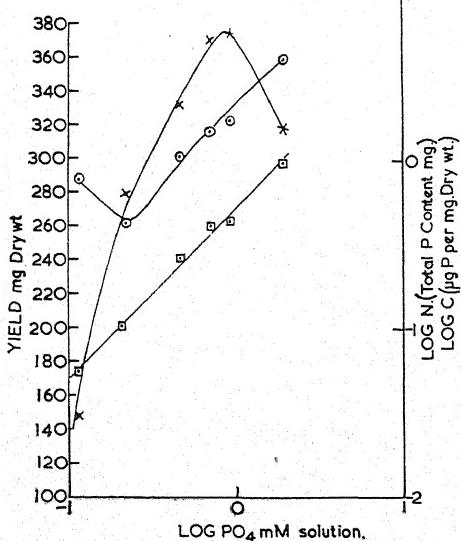


FIG. 5. — Excised vine callus tissue culture.

× yield in mg. Dry wt. ◦ Log concentration of PO₄ in dry material.
■ Log N = Log C + Log Y (See text).

(Drawn from data of Heller 1953).

or 18 weeks when the yields were about one hundred times greater at the later age, over the same range between approximately 0.0025 and 0.11 p.p.m. Figs. 2,3 and 4 show similar effects in cauliflower for molybdenum supplied at low or high nitrate levels in experiments by Agarwala and Hewitt (1), in several plants grown with different copper levels by Piper (9), and in tomato grown with increasing amounts of chlorine by Broyer, Carlton, Johnson & Stout (2). Fig. 5 shows a similar overall response of vine callus culture to external phosphate supply observed by Heller (4).

It is also seen that in each figure the yield curve enters a phase of rapidly de-

creasing response which may become zero over a wide or narrow range, and may finally show a negative slope due to toxicity effects.

Data in Fig. 6 are obtained from independent experiments of Mulder (8) and Hewitt & Hallas (6) on the molybdenum requirements of *Aspergillus niger*. These curves, constructed in the same manner as those for the higher plants, appear to be markedly sigmoid due to the persistence of appreciable growth down to the lowest levels experimentally attainable. The regions of inflection of the curves however, appear to coincide with linear portions of the curves which then resemble those in Figs 1 to 5.

It is axiomatic that the curves for higher plants must also extend backwards indefinitely on the logarithmic scale with negligible slope beyond the lower limits shown, since further

appreciable decreases in the yields would be impossible. The more markedly sigmoid character of the curve for *A. niger* may be due principally to the fact that the culture originates from one or more single cells that are capable of independent growth, whilst the higher plant when sown as a seed is already an organised multicellular structure for which a much higher minimum initial nutrient supply is needed for further development.

II. RELATION OF NUTRIENT SUPPLY TO CONCENTRATION WITHIN THE PLANT

The effects of external nutrient supply on internal concentration of particular elements depend on three sets of factors. The first set comprises the intrinsic absorption characteristics of the tissue for the element in question. These characteristics are determined by the external ionic environment, antagonism phenomena and effects of light, temperature and aeration. The second set comprises the relationships governing the effects of the internal concentrations and ratios of the absorbed elements on the rates of cell division and cell expansion respectively. The third set of factors includes the total growth capacity of the organism and its differentiation

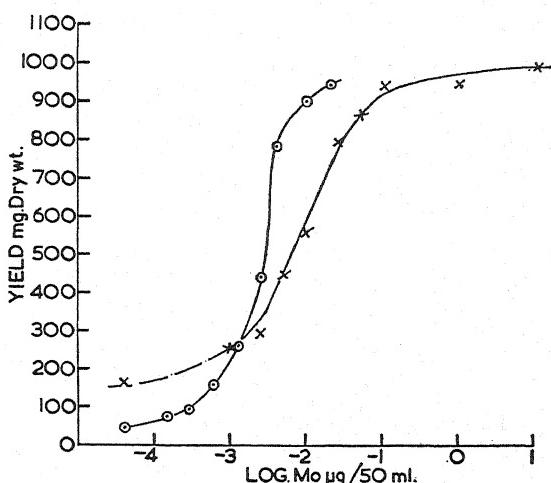


FIG. 6. — Yield curves for molybdenum in *Aspergillus niger* \times data of E. G. Mulder (1948). Separate points of two experiments. 4 days at 31°C . \circ data of Hewitt and Hallas (1951). Means of 24 experiments. 5 $1/2$ days at 25°C .

pattern or growth habit, i.e. number of apical meristems or other characteristics, to which attention was drawn by Goodall & Gregory (3).

The observed internal concentration at any time is therefore the result of a complex response to nutrient supply, and comprises the following components.

- (i) A positive component due to the intrinsic absorption capacity of the cells.
- (ii) A negative component due to the effects of the absorbed elements in limiting supply on increased cell division and subsequent expansion of daughter cells, and a positive component when toxic effects are involved.
- (iii) A third component negatively related to the duration of the growth period and extent of differentiation, as compared to the final maturation or senescence periods.

The relationships between external supply and internal concentrations will therefore be different for essential and non-essential elements when examined over the range from very low to high levels. This point is illustrated by the following examples. It is likely that the period of growth during which the element attains particular importance will also influence the relationship observed ; Goodall & Gregory (3).

Rediske & Selders (10) studied strontium uptake over a 4 day period by kidney beans grown in aerated water cultures in a controlled environment. Strontium is not regarded as an essential element for growth over the range tested namely 0.0001-100 p.p.m. and no toxic effects or growth depressions were observed at any concentration used.

It was shown clearly that the logarithm of the internal concentration of strontium in trifoliolate leaves was linearly related to the logarithm of the external concentrations over

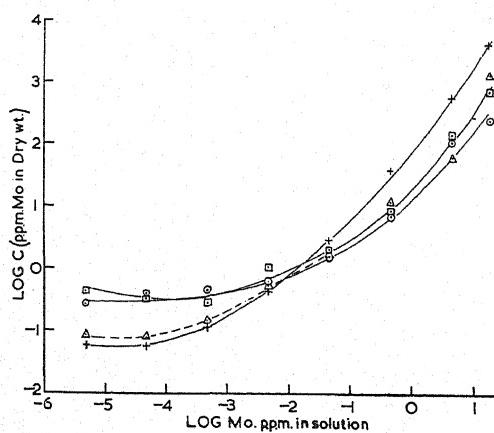


FIG. 7.—Relation of molybdenum concentration in dry matter of cauliflower leaves at 90 days to level in solution.

+ old leaves high NO_3 ▲ old leaves low NO_3 . strontium in trifoliolate leaves was linearly related to
◻ young leaves high NO_3 ◎ young leaves low NO_3 . the logarithm of the external concentrations over

(From Agarwala and Hewitt 1954).

a range of 10^6 , with a uniform ratio of about 10^2 between internal and external concentrations.

Figs. 7 and 8 show the results obtained by Agarwala & Hewitt (1) for molybdenum uptake by cauliflower grown from seed with eight levels of molybdenum between 0.000005 and 19.2 p.p.m. in sand cultures in which growth increased over the whole range tested in the high nitrogen series and

reached a maximum without indication of any depression due to toxicity in the low nitrogen series. There was a curvilinear relationship between the logarithms of the external and internal concentrations and the curves showed considerable similarity in leaves, stems and roots. There appeared however, to be marked minimum values for the internal concentrations of molybdenum in flower curds at levels of the external supply that were greater than the lowest levels provided. Flower production was suppressed

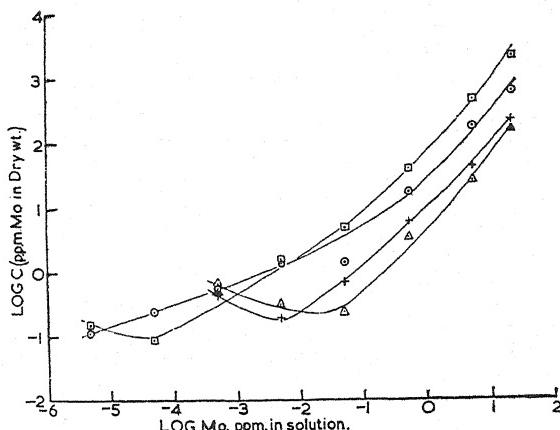


FIG. 8. — Molybdenum concentrations in leaves and in flower curds of cauliflower at 180 days.

leaf high NO_3 leaf low NO_3 .

+ curd high NO_3 Δ curd low NO_3 .

(From Agarwala and Hewitt 1954).

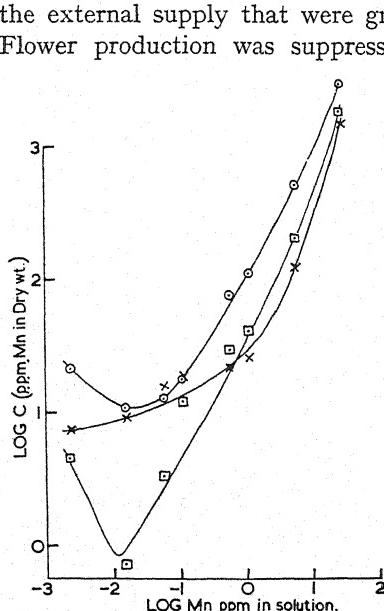


FIG. 9. — Manganese concentrations in stems, young leaves and tops of tomato plants grown at different manganese levels in sand culture.

• Tops of plants aged 5 weeks.
■ lower stems, and \times young leaves of plants aged 18 weeks.
(Hewitt unpublished data).

below 0.0005 p.p.m. Mo in the low nitrate series and below 0.00005 p.p.m. in the high nitrate series. The molybdenum range between 0.00005 and 0.005 p.p.m. was associated with curd initiation and that between 0.005 and 0.05 p.p.m. with the major proportion of final curd production. Minimum values also occurred in leaves and stems at an intermediate molybdenum level in the high nitrate series in which nitrogen was not limiting, in contrast with the low nitrate series in which nitrogen was also limiting for growth. The relation between molybdenum supply and the total numbers and size of flower primordia or leaf cells has not been examined. It is possible however, that the types of curve obtained for the curds reflect the complex nature of the relationship outlined above in which the negative effects of increased cell production and expansion initially outweighed the positive effects of the intrinsic absorption characteristics of the tissue.

This view is consistent with differences associated with the effects of high and low nitrogen supplies.

Fig. 9 shows the results observed in a comparable experiment on the manganese nutrition of tomato already mentioned, in which marked depressions of growth due to toxicity occurred in the mature plants at the highest manganese levels, whilst only slight effects of toxicity were observed in the plants aged 5 weeks. Clearly defined minimum concentrations occurred in young leaves of mature plants and in leaves of young plants at manganese levels above the lowest used, but at which the plants were still in a manganese deficient condition. Similar relationships are clearly present in the results observed by Piper (9) for the effects of copper supply on copper content of oats grown in water cultures over a range from severe deficiency to marked toxicity, and for vine callus cultures given increasing phosphate levels by Heller (4). These are shown in Figs. 10 and 5 respectively which are drawn from transformed data given by these workers.

III. RELATIONSHIPS BETWEEN YIELD AND INTERNAL NUTRIENT CONCENTRATION

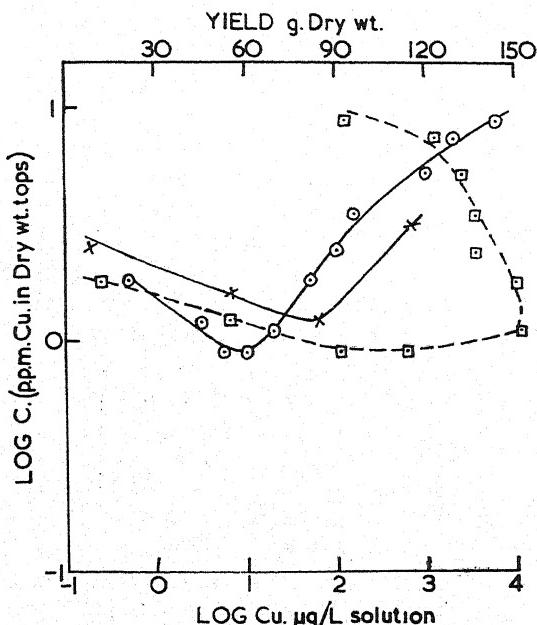


FIG. 10. — Relationships between copper concentration in oat tops and yields and external copper supplies.

- × Copper concentrations, p. p. m. in dry matter in relation to nutrient supplies in 1939 or 1940. □ Copper concentrations p. p. m. in dry matter in relation to yields 1940.

(From data of Piper 1942).

The relation of yield to internal concentration of a limiting or toxic element is a function of great practical and diagnostic value in agricultural practice. The subject is discussed by Goodall & Gregory (3) in relation to the growth characteristics of the plant as for example whether one or several apical meristems of equal status are normally produced.

Since the function relating yield to external concentration is positive over the range from nil to the optimum level of the nutrient, the curves relating internal concentration to yield are, as expected, similar in nature to those relating internal concentration to the external

concentration. They differ only in the use of a linear ordinate for yield and of a logarithmic ordinate for external concentration, and in their ranges.

As levels markedly above the optimum often depress the yields the curves often show an additional feature, namely a tendency to turn back towards the yield origin at high values of internal concentration, and thus present a helical function as seen in Figs. 10 and 11. The significance of marked minimum internal concentrations of a limiting element at yield or external level values above the lowest, to which attention was directed by Steenbjerg (11), is considered in more detail later.

IV. THE EFFECT OF EXTERNAL CONCENTRATION ON TOTAL NUTRIENT UPTAKE

The total nutrient uptake or content of the plant may be determined either from analysing a whole plant or from the summation of the products of the respective yields and concentrations of a nutrient in separate regions. On a logarithmic basis $\log N = \log Y + \log C$ where N , Y and C are the total content of the nutrient, the total yield, and the mean concentration in a uniform sample of the whole respectively. In certain circumstances it may be impossible to estimate C and an index N' is proposed where $\log N' = \log Y + \log C'$ in which C' is the concentration in a standard region e.g. stem, leaves from certain nodes, aerial regions, etc. that might be expected to show comparable trends in C' and Y' to those shown by C and Y for the whole plant.

The nature of the relationship between N or N' and the external nutrient supply is shown in a series of examples in Figs. 5 and 12 to 15.

The points on the curves in these examples have been calculated here

from the independent experiments with four nutrient elements already described. In two, namely for molybdenum in cauliflower Fig. 12 and for phosphate in vine callus culture Fig. 5 the data are given for N whilst for copper in oats, Fig. 15; molybdenum in cauliflower, Fig. 13; and manganese in tomato, Fig. 14; the data were available for calculation of various types of index N' . Figs. 12 and 14 for molybdenum and manganese also present data for another type of index N'' in which the total yield Y is replaced by

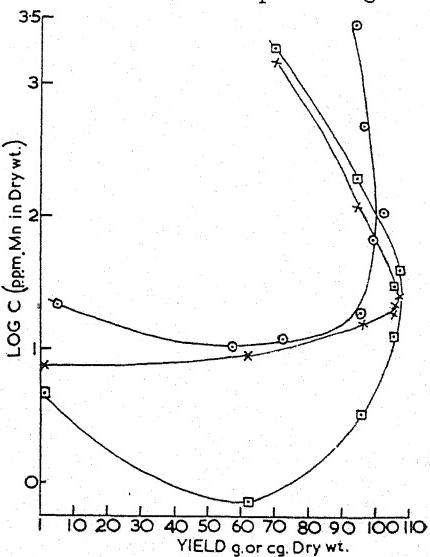


FIG. 11. — Relationships between manganese concentration p. p. m. in dry matter and yields for same material shown in Fig. 9.

the yield Y' of the foliage or leaves and stems to which the values of C' refer; i.e. $\log N'' = \log Y' + \log C'$.

In cauliflower given molybdenum at the lower nitrogen level there were more marked inflections in the curves for N or N'' than at the higher nitrogen level. The significance of these inflections is not clear. They occur in the range of molybdenum levels over which flower curd initiation was most markedly stimulated, and correspond with the values for which there

was a marked decrease to a minimum in the molybdenum content of the dry curd tissues, especially in the low nitrogen series. It is evident from Fig. 8 that not only was the molybdenum content of the curds sharply reduced at molybdenum levels just above those critical for curd initiation, but also that their contribution to the total molybdenum content of the plant was small compared with other tissues over the remainder of the range studied. Fig. 12 also shows two other curves for the correspondence between N'' for total content in foliage and nutrient supply.

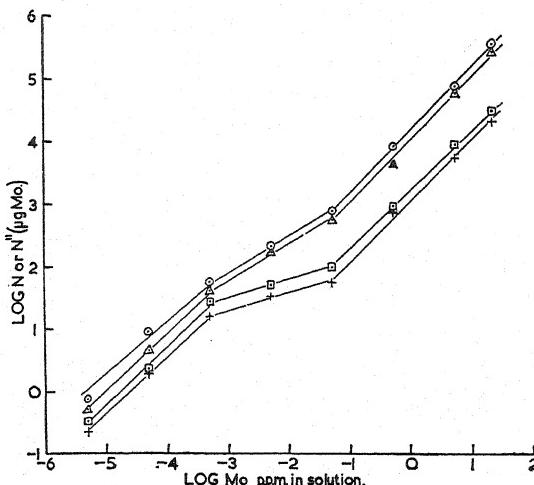
FIG. 12. — Relationships between $\log N = \log C + \log Y$ or $\log N'' = \log C' + \log Y'$ and molybdenum supply to cauliflower (See text).

(From Agarwala and Hewitt 1954).

- Log N for whole plants high nitrate level.
- △ Log N'' for leaves high nitrate level.
- Log N for whole plants low nitrate level.
- + Log N'' for leaves low nitrate level.

supply. These are practically identical in form and slope with the corresponding curves for N . The curves in Fig. 13 show a break at certain molybdenum levels corresponding to those over which the inflections occur in Fig. 2 at stages of growth before curd production was observed but at which the effects of increasing molybdenum on relative growth were clearly evident.

In curves showing the relation of N' or N'' for manganese in tomato in Fig. 14, leaves attached between the 1st and 3rd flower trusses of mature plants aged 17 weeks, stem internodes from the same regions of these plants or total aerial regions of plants aged 5 weeks were used to provide data for C' in each curve and the respective total yields were used to calculate $\log N' = \log Y + \log C'$. $\log N''$ was calculated for the total contents in all leaves and in stem internodes between flower trusses 1-5. It is seen that the relationship between $\log N'$ or N'' and the logarithm of the external manganese level is linear in each instance over a wide range from deficiency



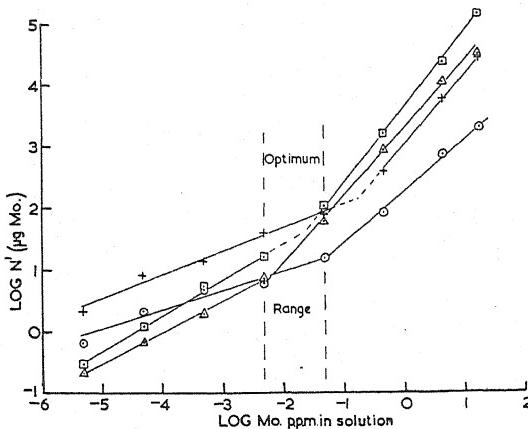


FIG. 13. — Relationships between $\text{Log } N' = \text{Log } C' (\text{leaves}) + \text{Log } Y$, and molybdenum supply to cauliflower (See text).

- ◻ old leaves plants aged 90 days high nitrate level.
- + young leaves plants aged 90 days high nitrate level.
- young leaves plants aged 90 days low nitrate level.
- ▲ leaves plants aged 60 days high nitrate level.

(Unpublished data of Agarwala and Hewitt 1954).

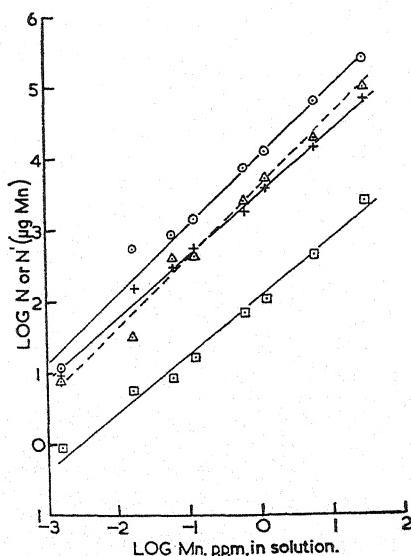


FIG. 14. — Relationships between $\text{Log } N'$ or $\text{Log } N''$ and manganese supply to tomato (See text).

- ◻ $\text{Log } N' = \text{Log } C' (\text{tops}) + \text{Log } Y$ plants aged 5 weeks.
- + $\text{Log } N' = \text{Log } C' (\text{lower stems}) + \text{Log } Y$ plants aged 18 weeks
- $\text{Log } N' = \text{Log } C' (\text{lower leaves}) + \log Y$ plants aged 18 weeks.
- ▲ $\text{Log } N'' = \text{Log } C' \text{ leaves and stems} + \text{Log } Y' \text{ leaves and stems}$ 18 weeks.

levels to high ones that were beyond the optimum and caused marked yield depressions due to toxic effects.

Similar data available from an experiment on copper nutrition of oats by Piper (9) have been used to calculate Log N' in Fig. 15. A linear relationship between log N', calculated from copper in aerial parts and total yields, and the logarithm of the external copper supply is evident over a wide range. The lowest copper concentration shown here was estimated by

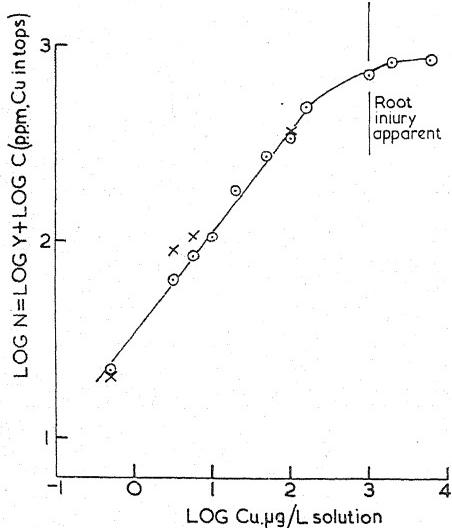


FIG. 15. — Relationships between Log N' and copper supply to oats.

○ 1939, × 1940 (From data of Piper 1942).

However, log C' for strontium was linearly related to the logarithm of the external strontium level and yields were independent of these levels over the whole range tested, it is clear that log N or N' must also be linearly related to the logarithm of the external strontium concentrations in conformity with the other examples given for essential elements.

The linear relationship appears therefore to be a close approximation of general validity and holds for log N, log N' or log N'' as defined above over a wide range from severe deficiency to threshold or optimal levels and the curves may extend with a new or identical slope to concentrations well beyond the optimum level.

CONCLUSIONS

The data examined in this discussion suggest that, for several essential elements including micronutrients, the respective relationships between external concentration supplied in a culture medium, and growth or total

Piper to be about 0.5 µg/L (9) and this value has been used in the curve. The departure from linearity at the highest copper levels attributed here to the fact that root injury was observed at these concentrations, and intrinsic accumulation might have been depressed.

Fig. 5 shows that the total phosphate content of vine callus cultures grown by Heller (4) is similarly linearly related to the external phosphate level over a range which extended to toxic levels.

The experiments of Rediske & Selders (10) on strontium uptake by beans already mentioned did not provide the data for calculating the relationship for N or N'. As how-

accumulation by the plant are fundamentally similar regardless of the element or plant.

Steenbjerg (11) (12) postulated from field experience that, if sufficient experimental points were available, the curves relating yields to total amount of limiting nutrient absorbed, termed O by Steenbjerg and therefore identical to N as used here, would be sigmoid. He suggested that such curves could be extrapolated to a common zero on the grounds that nil yield is associated with the total absence of the limiting nutrient. This postulate is axiomatic but in fact is only one extreme of a more general postulate that some quantity of nutrient equal to, or greater than zero, is required before any yield increment is possible. This view avoids the need to infer that a sigmoid curve is obligatory in the relationship, and in fact the evidence

FIG. 16. — Examples of curves relating yields to calculated total nutrient absorbed N or O, and to index values N' or N" in different crops illustrated in previous figures (See text).

A Molybdenum in cauliflower : N at 180 days high NO_3^- level (fig. 12).

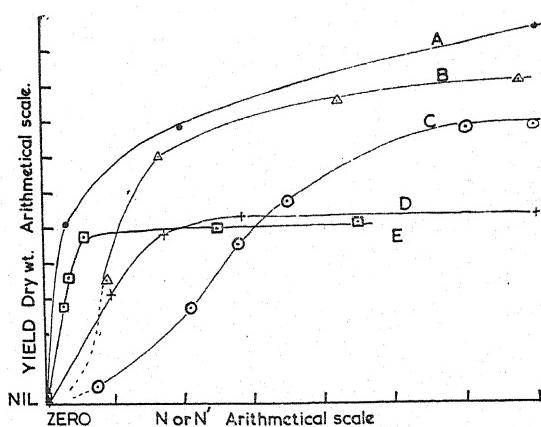
B Phosphate in vine callus-culture : N' (fig. 5).

C Copper in oat : N' (fig. 15).

D Manganese in tomato : N' 5 weeks (fig. 14).

E Manganese in tomato : N" 18 weeks (fig. 14).

Arithmetical scales for yield and N in appropriate units.



from culture experiments suggests that such a sigmoid curve is only sometimes observed as shown in Fig. 16 for the relationships between N", N', N (or O) and the yields of plants grown in several experiments. Obvious or just possible sigmoid responses are observed for copper and phosphorus respectively. In the curves for manganese, linear relationships over the lower part of the range of N' or N" are equally acceptable. The curve for N for molybdenum in cauliflower conveys no indication at all of a sigmoid function, and indeed provides little scope to infer such a possibility.

The function concerned in the curve relating O or N to total yield merits further consideration. This function is in fact cubic in general form, and it is to be noted that the variable O or N already contains the yield term. The value of the product $N = C \times Y$ and its trends with changes in external concentration are determined by the magnitude of the separate effects of external concentration on C and on Y. It has been shown in Figs. 7 to 11. that the effects of increasing external nutrient on internal concentration and on yield obey what appear to be general laws but naturally show quantitative differences which would be reflected in the values of the individual constants concerned in the equations for these relation-

ships. Thus the functions relating Y to limiting external concentration are always positive whilst those relating Y to C , or external concentration to C may often be initially negative and later positive, as shown experimentally in independent examples. The changes in $N = C \times Y$ in relation to Y are further complicated by the fact that the form of the curve relating Y to C indicates a quadratic function in which the apparently oblique orientation of the axis of the parabola in some instances suggests that a function of $(Y + C)$ is one of the variables involved.

Three further points are relevant to this discussion. First the conclusion that the function relating Y to $Y \times C$ i.e. N is cubic, embraces the Steenbjerg concept of the sigmoid TYPE of curve but is not limited to such a curve. The values of the constants in the equation :

$$N = CY = \alpha Y + \beta Y^2 + \gamma Y^3$$

will determine the position of the origin or zero, as defined by *positive increments* in yield, in relation to the point of inflection of the sigmoid curve. The positive or real values will thus appear to vary in exponential or sigmoid functions according to the position of the zero relative to the point of inflection.

Data presented in Fig. 16 illustrate this point. It is seen that whereas the experiment with copper shows, and that with phosphorus suggests sigmoid curves for N or N' as forecast by Steenbjerg (11) (12), the curves for manganese can be interpreted equally as practically linear over the relevant range about the point of inflection, and that for molybdenum shows beyond doubt that here an exponential type of curve is obtained because the zero point for real values is beyond the point of inflection of the cubic function. Westerfeld (14) has shown in a paper published whilst this was in preparation that biological dose-response curves are probably true sigmoid curves similar to those obtained for proton or electron transfers. He pointed out that hemi-sigmoid curves in which the origin occurs at or beyond the region of inflection are commonly observed in such experiments. There is therefore adequate precedent to support the ideas advanced here from independent considerations. The data do not however, at present permit of a decision as to whether true sigmoid logarithmic functions or cubic or higher functions strictly account for the observed data.

The second point that arises from this discussion concerns the significance of the minima in the curves relating C to Y or to external concentration. It is clear that increased growth often leads to decreased internal concentrations of the limiting element, and the field observations of Steenbjerg (11) with copper are confirmed experimentally under culture conditions for several elements. As growth is also limited by the supply of the limiting nutrient the conclusion is reached that two processes are involved in the growth response to limiting nutrient supply. One is a primary response which demands a higher nutrient status than the second or consequent response. This system could be represented by the processes of cell division and cell expansion such that expansion of daughter cells could proceed rapi-

dly at concentrations below those critical for further rapid cell division. Still higher external concentrations would finally result in a positive instead of a negative effect on accumulation in daughter cells and the curve would then show an overall positive trend. The relationships postulated here between limiting nutrient supply and cell production and expansion constitute a trigger mechanism, and this combined with the intrinsic absorption characteristic would be consistent with the presence of Y + C components in the quadratic functions relating Y or external concentrations to C.

Finally attention is drawn to the fact that whereas the values of C or C' may not provide unequivocal criteria of the nutrient status of the tissues at certain levels corresponding to severe deficiency conditions owing to the demonstrated possibility of observing two yield values corresponding to one nutrient value, the relationship between $\log N$, N' , N'' , or $\log O$ and logarithm of external supply is uniformly positive and linear over the range from severe deficiency to optimum levels of the nutrient. Beyond the optimal region there may or may not be a change in slope depending on the extent to which toxic effects on growth compensate for continued total uptake. There may also be changes in slope at intermediate levels if fundamental changes in development occur such as the initiation of new organs that do not occur at lower concentrations but which materially alter the balance between total yield and intrinsic absorptive capacity, e.g. as inferred for curd production in cauliflower grown at different molybdenum levels. It is therefore suggested that the determination of total nutrient content or of an index of this in terms of $\log N' = \log Y + \log C'$ may in the light of experience provide a more reliable criterion of nutrient status in terms of analytical data; in the first instance for the simple case of a single limiting element.

Many of the points discussed here are capable of experimental verification and it is hoped that some progress in this direction may be expected.

The advice and assistance of Mr. G. M. Clarke, Statistician at Long Ashton, in making it possible to indicate the significance and mathematical interpretation of the relationships and conclusions discussed here are most gratefully acknowledged.

REFERENCES

1. AGARWALA, S. C. and HEWITT, E. J. *J. hort Sci.*, 29, 278, 1954.
2. BROYER, T. C., CARLTON, A. B., JOHNSON, C. M. and STOUT, P. R. *Plant Physiol.*, 29, 526, 1954.
3. GOODALL, D. W. and GREGORY, F. G. Chemical composition of plants as an index of their nutritional status. Imperial Bureau Horticulture (East Malling). Tech. Comm. 17, 1947.
4. HELLER, R. Recherches sur la nutrition minérale des tissus végétaux, cultures *in vitro*. Thèse, Université de Paris, 1953.
5. HEWITT, E. J. Unpublished data, 1950.
6. HEWITT, E. J. and HALLAS, D. G. *Plant and Soil*, 3, 366, 1951.

7. HEWITT, E. J. The use of sand and water cultures in the study of plant nutrition. Commonwealth Bureau of Horticulture (East Malling). Tech. Comm. 22, 1952.
 8. MULDER, E. G. Plant and Soil, 1, 94, 1948.
 9. PIPER, C. S. J. agr. Sci., 32, 143, 1942.
 10. REDISKE, J. H. and SELDERS, A. A. Plant Physiol., 28, 594, 1953.
 11. STEENBJERG, F. Plant and Soil, 3, 97, 1951.
 12. STEENBJERG, F. 8th Internat. Bot. Congress : Symposium on Plant analysis and fertiliser problems, *proc.* 145, 1954.
 13. STEWART, R. The Mitscherlich, Wiesmann and Neubauer methods of determining the nutrient content of soils. Imperial Bureau Soil Sci. (Rothamsted). Tech. Comm. 25, 1932.
 14. WESTERFIELD, W. W. Science, 123, 1017, 1956.
-

An appraisal of the use of chemical tissue tests for determining the mineral status of crop plants

by D. J. D. NICHOLAS

Agricultural Research Council, Unit of Plant Nutrition (Micronutrients),
University of Bristol, Research Station Long Ashton, England

The determination of the total nutrient content of plants is one of the procedures used to diagnose the mineral status of crops (1. 2. 3. 43. 57. 66. 73. 75. 92. 96. 99.). The method is often tedious, primarily due to the time consuming preparative procedures. Rapid chemical tests which were developed to diagnose the mineral status of crops, are quick in operation and relatively inexpensive. The results although less precise than those by total analysis are sufficiently quantitative to determine deficiencies or toxicities of nutrients in plants.

DEFINITION

Chemical tissue tests are used to determine certain fractions of the total mineral nutrients in fresh plant material which will reflect the mineral status of whole plants.

FIELD SAMPLING METHODS

The problems associated with sampling plant material for chemical analysis have been recognised from early studies and are common to tissue tests and total analysis. It is often impossible to determine mineral elements in whole plants; this led early investigators in particular Heinrich (50) Atterberg (2) & Alway (1) to sample particular tissues. The choice of plant parts has been subject to debate, and conclusions are often based on little experimental data. The leaf is regarded as a suitable sampling unit and when actively growing is likely to reflect nutrient deficiencies or excesses sooner than other plant portions. Three types of leaf sampling are advocated : (a) samples comparable in age and position on the plant, (b) all leaves from a minimal number of plants in a population, (c) random selection of leaves from a fixed number of plants. Gossard (44) showed that the error in method 'c' was greater than that for method (a).

At Long Ashton the sampling problem has been studied by means of visual and chemical data for the distribution and mobility of mineral nutrients within plants grown under normal and deficient conditions. Thus K, Mg and P deficiencies usually appear in older leaves as these nutrients are readily translocated to younger leaves whereas Ca, Ba, Fe deficiencies occur in young leaves. It is clear that the time involved in differential sampling of the leaves for chemical analysis would not be justified, thus a compromise is made and one composite leaf sample is used for a range of nutrients. Mid-stem leaves, in most crops, reflect the nutrient changes in the whole plant satisfactorily and ensure a continuity of sampling throughout the season (77).

PREPARATION OF TEST SAMPLES

Leaf material should be washed for 30 sec. in distilled water containing 0.3 % teepol so as to remove dust particles (82). The entire leaf lamina has been used by a number of workers for total analysis of the nutrients (43), others (5.46.47.48 57) have sampled punched portions of it for test. Emmert (23-38) used the leaf margins whereas Gauch & Wadleigh (42) preferred root tissues for analysis. For chemical tissue tests however petiole or stem portions are often used. The assumption is that more "unassimilated" nutrients are present in petioles than in the leaf lamina.

At Long Ashton petioles or midrib portions are sampled for field tests whereas the leaf lamina are used in maceration procedures in the laboratory. Results of experiments with a range of crops have shown that nutrients in petiole extracts reflect the mineral status of plants as effectively as do those of the lamina. It is more expedient to test petiole extracts in the field because these usually contain less pigment than those prepared from the leaf lamina. In the laboratory, macerators are used to extract nutrients from leaf laminae as this procedure is more standard in operation.

EXTRACTION OF NUTRIENTS

Hoffer and Trost (53) and Hoffer (52) showed by a qualitative staining technique that Fe accumulated in the nodes of maize when K was deficient but other workers found that the test did not apply to oat (56) and sugar-beet (71). McGillvray *et al.* (67) determined K in sections of tomato petioles, which were immersed in platinic chloride, by the relative abundance of potassium platinic chloride crystals. These qualitative tests are of little diagnostic value.

EXPRESSED SAP

A later development was the analysis of expressed sap for nitrate N, P and K. This extraction was done by grinding fresh plant material and straining through a muslin or silk mesh. McCool and Weldon (69)

extracted sap under pressure of 1 ton per sq. inch and determined P and K in the extract, Fonder (39) tested for Ca and Mg in the sap of bean plants and Cook (19-20) for nitrate-N in leaf extracts of cereals. Pettinger and Thornton (88) showed that the NPK content of maize was closely related to manurial treatment, and Craig and Halais (21) found that the P content of sugar-cane juice reflected P treatment and yields of sugar better than soil analysis. Carolus (9-18) working with potato showed that limiting values could be fixed for N, P, K, Mg and Ca in the extracts, but Poehlman (90) working with soya bean failed to determine standards for nutrient deficiencies. McCool (68) showed that the composition of the expressed sap was affected by variations in pressure and by differences in attaining the same final pressure. Gassner and Goez (41) improved the reproducibility of the results by killing the tissues first before pressing. Eaton (22) found that B in the sap of plants varied little with B supply, and Fudge (40) showed that the B content of expressed sap was low despite an increase of total B, but at toxic levels the concentrations in the sap increased more markedly than did total B. Smith (94) found some correlation between B content of plant sap and the application of borax.

Plant exudate either from natural secretion via hydathodes or from cut ends of plants have been examined for mineral nutrients. Lowry and Tabor (64) and Lowry *et al.* (65) collected sap from cut ends of maize stems and showed that K and P content reflected the treatment, but the N level did not.

The results obtained by these methods have not given a reliable diagnosis of the mineral status of plants.

SOLUTION METHODS

Two types of procedures, each employing solutions to extract nutrients, have been used : (a) diffusion method for the easily soluble nutrients (72.73. 75.71.79) and (b) maceration methods using blenders (74.80.81). The diffusion method only is used in the field and macerators are employed in the laboratory.

Water. Cold water has been used to extract Ca from sugar cane (84.85) and from other crops (8). Linberry *et al.* (59.60) used boiling water to extract N P K Mg and Ca from peanut, cotton and strawberry and showed that there was a tolerably close correlation with fertilizer application and that P in particular agreed with the total amount present in the tissues. Brown (7) & Brickley (6) determined nitrate N and P in water extracts of sugar beet and potato leaves respectively. Scarseth (93) showed that drying plant material altered the proportion of K soluble in water. Nicholas (76.77) has used glass distilled water to extract heavy metals from tomato leaves when they were present in excess.

Organic Acids. Emmert (23-38) was among the first to use 2 per cent. acetic acid to extract nitrate-N, P and K from vegetable crops and Carolus

(9-18) found that acetate extracts of stems and petioles reflected the nutrient content of the whole plant. This extraction method has been used by a number of workers including Hill and Johnson (51) for Mg deficiency in apple, Cook (19) for K deficiency in legumes, Lorenz & Minges (63) for N P K status of lettuce and Ulrich (43) for the five major nutrients in petioles of clover. Lorenz (62) showed that changes in nutrient content of acetic acid extracts of potato petioles were more marked than for the total amounts in the tissues. Thorne & Wallace (97) found that the acetic acid extracts of green leaves contained more iron than those of chlorotic leaves.

Buffered solutions. In 1935 Morgan introduced the now famous acetic acid-sodium acetate solution (pH 4.8) for the extraction of mineral nutrients from soils (70). He suggested that his solution could be used for extracting plant nutrients.

At Long Ashton a statistical comparison was made between the K, Mg, Ca, P and nitrate N contents of potato and cauliflower leaves prepared in a N. I. R. D. macerater with acetate (Morgans reagent), citrate, succinate, and malonate solutions (80-81). The crops grown in a long term manurial experiment were sampled at three intervals during the season. The nutrients in the acetate buffer were best correlated with visual symptoms of deficiencies, total amounts of nutrients present and with crop yields.

Hydrochloric Acid. This acid has been frequently used to extract nutrients from plant tissues. Thus Lundegårdh (66) used *N* HCl extracts of dried plants for spectrographic analysis and Oserkowsky (86), Jacobsen (55), Thorne & Wallace (97), Somers & Schive (95) and Liebich (58) used different concentrations of HCl to extract "active" iron from plant tissues. Greenhill (45) compared acetate extracts of fresh tissues with those of dilute HCl and found that the P status was better shown in acid extracts. The acid extraction of P took 2 hr. to reach completion. At Long Ashton 6*N* redistilled HCl has been used to extract heavy metals from fresh plant tissues when they are present in high concentrations (76).

Sulphuric Acid. Emmert (26) used dilute acid to extract P from tomato and lettuce leaves.

Ethyl Alcohol. Beauchamp (3-4) extracted "crude chlorophyll" with ethanol and determined N, P, K, Mg and Ca in the extract. The K in the extract correlated well with the results of other diagnostic methods when plants were grown in low-K soils but K in the leaf residues did not.

Other extraction solutions include reagents used for determining the mineral nutrients. Thus in the Purdue tissue tests (93-98) sodium cobaltinitrite and alcohol are used to extract K; ammonium molybdate and dilute sulphuric acid to extract P; and diphenylamine and sulphuric acid to extract nitrate N.

CHEMICAL TESTS

Most of the chemical methods described in early papers are qualitative based on microchemical staining techniques or testing extracts with the tissue *in situ* so that nutrients continue to diffuse into solution (93-98). Attempts were made to make the tests quantitative and reproducible. For field work the chemical tests must be simple in operation and preferably specific so that there is no need for elaborate chemical separations or heat treatment before testing. Tissue extracts usually contain small fractions of the total nutrients so that interferences of one nutrient with another are less than when total amounts are determined. At Long Ashton the chemical tests although simple are yet accurate and reproducible to within 10 per cent (77.89) In the laboratory the tests used for the macerator extracts are a little more elaborate than for the field tests, thus giving more precise results (74.79.80.89.83).

EXPRESSION AND INTERPRETATION OF RESULTS

Qualitative procedures are used to determine whether plants are deficient or not in a particular nutrient. This procedure although useful for diagnosis of gross malnutrition is of little value in doubtful instances. In these instances semiquantitative methods are essential so that standard may be fixed for various elements which correspond with levels of nutrition from normal to deficiency or toxicity levels of the elements. The results are usually expressed as μg . element extracted per unit time per g. fresh weight of tissue.

NUTRIENT STANDARDS

Results of tissue test studies show that nutrient standards vary with the type of crop and tissue used so that a detailed knowledge of crops grown in a variety of soils is required before standards can be fixed. A survey of a range of crops has already been made using the diffusion and macerator methods (72-81). For diagnostic work in the field differences in nutrient levels between good and poor specimens may be sufficiently striking to facilitate a diagnosis. On the other hand the differences may be small as the so called "good" samples may be near the deficiency level and there are no visual symptoms to guide the sampler. Thus a knowledge of nutrient standards for really healthy and deficient plants is essential for a correct diagnosis. This information can only be obtained by making a comprehensive tissue test study of plants grown in long term manorial experiments, sampling many times during the season and over a period of years.

SEASONAL TRENDS

At Long Ashton the seasonal trends for the various nutrients have been determined in a variety of crop plants (73-81). The results show that K, and,

in particular, nitrate N fall as the season progresses so that differences between normal plants and those deficient in one of these nutrients may be much reduced late in the season. Nitrate-N falls to such low values from mid to late season, irrespective of treatment, that it cannot be used at this stage for the diagnosis of N deficiency. A knowledge of the seasonal trends for the nutrients in crop plants grown at various nutritional levels facilitates the diagnosis of an impending visual deficiency effect. The difficulty that some workers have experienced in fixing nutrient standards may in part be due to determining the nutrients once only, during the season without reference to the seasonal changes. Harrington (49) and Nicholas (73-81) have shown that for accurate diagnosis of nutrient levels in crops tissue tests should be made at about four to six intervals during the season.

Changes which occur in K, Mg, Ca and N in potato leaves sampled at intervals during a season are illustrated in Table I.

TABLE I

Mean values of nutrient contents in Potato leaves vars. Kerr's Pink and Dunbar Standard, for three blocks and six manurial treatments at each date of sampling.

Sampling dates	Potassium			Magnesium			Calcium			Nitrogen		
	Method		Extraction									
	Total	Acetate		Total	Acetate		Total	Acetate		Total	Acetate	
	Extraction	Citrate		Extraction	Citrate		Extraction	Citrate		Extraction	Citrate	
Kerr's Pink :												
24 th June, 1952 ..	2.22	3,263	2,735	0.44	539	157	3.11	3,562	2,755	4.80	646	662
14 th July, 1952 ..	2.16	1,946	1,635	0.54	1,045	635	4.04	3,785	3,764	4.60	660	197
21st August, 1952 ..	2.03	1,590	1,744	0.86	1,158	631	4.80	5,518	5,720	3.80	463	346
S. E.*	0.08	150		0.04	36		0.12	190		0.13	55	
Dunbar standard												
25 th June, 1952 ..	5.84	2,924	3,401	0.46	839	235	2.91	5,807	4,109	4.90	850	1,117
15 th July, 1952 ..	3.11	2,624	2,625	0.57	1,267	206	3.92	4,766	3,066	4.80	831	823
22nd August, 1952	2.20	2,469	2,186	1.01	1,024	529	4.69	6,343	6,170	4.10	525	453
S. E.*	0.11	204		0.04	36		0.23	441		0.12	79	

* S. E. of differences between sampling means for acetate and citrate extracts prepared in a N I R I macerater.

Total : % K₂O, MgO, CaO and N in dry weight.

S. E. X 2 is approximately P < 0.05

Acetate and citrate extracts prepared in a N I R D macerater : S. E. X 3 is approximately P < 0.01
μg. M, Mg, Ca and nitrate N extracted per g. fresh weight.

Potassium, and nitrate N fall whereas Mg and Ca increase in acetate and citrate extracts of the potato leaves as the season progresses.

TISSUE TESTS AND VISUAL SYMPTOMS IN CROPS

The relation between tissue tests and visual symptoms (72-91.90) of malnutrition have been determined, over a period of years, in a range of

crops grown in long term manorial experiments. Threshold or critical levels for the nutrients coinciding with the appearance of visual symptoms of a deficiency or toxicity have been fixed in a number of crops (73.74.81). Data in Table II and III illustrate the use of critical levels for K, Mg and nitrate-N determined in a variety of extracts of potato and cauliflower leaves.

In the two potato varieties symptoms of K deficiency were observed in the *nil* and NP treatments a few days prior to sampling and the K levels shown in Table II were recorded. The critical values for K were similar for the four extractants excepting those for Kerr's Pink determined in acetate. The Mg status in acetate extracts is considerably higher than in either citrate, malonate or succinate buffers. The Mg values were also higher in Dunbar Standard which is not as susceptible to the deficiency as is the Kerr's Pink variety. The only satisfactory threshold levels for nitrate N were those determined in the malonate and succinate extracts.

TABLE II

Relation between the early development of visual symptoms of K, Mg and N deficiencies and the mineral status of potato leaves

Nu-trient	Visual symptoms of deficiency produced by	Variety	24th and 25th June, 1952		18th June, 1953		Total analyses % in dry weight
			Acetate extracts	Citrate extracts	Malonate extracts	Succinate extracts	
K	trace K	Kerr's Pink (KP)	2,000	1,500	1,500	1,500	2.0
		Dunbar Standard (DS)	1,500	1,500	—	—	2.0
Mg	trace Mg	KP	800	400	300	300	0.4
		DS	900	500	—	—	0.5
NO ₃	trace N	KP	—	—	500	500	—

Acetate and citrate extracts prepared in an N I R D macerater : K, Mg and nitrate N in µg. extracted per g. fresh weight.

Total analyses : % K₂O, MgO and N in dry weight.

In cauliflower the threshold levels for K were identical in the lamina and in the midrib (Table III). The values for Mg are also similar in the two extractants but those for nitrate-N are higher in the lamina extracts.

These experiments show the importance of standardising the extractant and tissue used to determine threshold levels for nutrient deficiencies. It is also essential to continue experimenting for a period of years to confirm the standards fixed.

Discrepancies have been observed in particular instances, e.g. in stunted plants where the concentration of the deficient nutrient may be greater per unit weight of tissue than in a larger healthy plant.

TABLE III

Relation between the onset of visual symptoms of K, Mg and N deficiencies in cauliflower by tissue tests and total values for these nutrients

Nutrient	Visual symp- toms	Lamina			Midrib		
		Succinate extracts	Malonate extracts	Total analyses % dry wt.	Succinate extracts	Malonate extracts	Total Analyses % dry wt.
K	trace K	2,500	2,500	2.5	2,500	2,500	2.5
Mg	trace Mg	100	50	0.25	100	50	0.20
N	trace N	2,000	1,500	4.0	1,000	1,250	2.0

Acetate and citrate extracts prepared in an NIRD macerater : K, Mg and nitrate N in μg extracted per g. fresh weight.

Total amounts : % K_2O , MgO and N in dry weight.

TISSUE TESTS IN RELATION TO MANURIAL TREATMENTS

Tissue test data have been related to manurial treatment. In Table IV and in Table V, values for K, Mg, Ca and nitrate N in acetate and citrate extracts of mid-stem leaves of potato var. Kerr's Pink and Dunbar Standard prepared in a NIRD macerater are compared with total contents (80.81). All values are means for three blocks and for three dates of sampling during the 1952 season.

The main points are as follows.

Potassium deficiency in the nil and NP treated plants was clearly shown by all three methods of analysis, the values in acetate and citrate extracts being of the same order.

All methods of analysis showed lower *magnesium* contents in plants receiving potassium.

The *calcium* level was greatest in plants not receiving potassium, and as with magnesium, the values were highest at the end of the season, whether determined in extracts or as the total amounts in the leaves.

At the first sampling date the level of *nitrate nitrogen* in Kerr's Pink was significantly lower in extracts of plants from the PK and FYM treatments than in those given NPK. This difference was not, however, shown by the total N contents of the leaves nor by the citrate and acetate extracts at the second and third samplings.

The acetate extracts contained about twice to three times as much Mg (for both varieties), significantly more Ca (for Dunbar Standard only) and significantly more nitrate nitrogen (for Kerr's Pink only) than did the citrate extracts.

TABLE IV

Nutrient content of Kerr's Pink potato leaves (1952) as determined by acetate and citrate extraction methods (NIRD macerator) and by total analysis

Treatment	Potassium			Magnesium			Calcium			Nitrogen			Mean yield (ware) lb. per plot	
	Method		Total	Method		Total	Method		Total	Method		Total	Method	
	Total	Extraction		Total	Extraction		Total	Extraction		Total	Extraction		Acetate	Citrate
		Acetate			Citrate									
Nil	1.59	1,459	1,183	0.79	1,088	573	4.28	4,710	4,598	4.4	707	420		75
FYM	3.20	2,471	2,051	0.74	986	573	4.11	4,065	4,065	4.0	368	267		228
NPK	3.16	2,990	2,517	0.50	868	381	4.11	4,376	3,884	4.1	440	326		216
PK.....	3.40	2,770	2,536	0.37	739	356	3.84	3,928	3,917	4.1	414	290		183
NK	3.42	2,919	3,026	0.55	783	467	3.14	3,257	3,165	4.7	715	572		173
NP	1.25	983	915	0.74	1,019	555	4.73	5,390	4,846	5.0	893	536		51
S. E.*	0.192	172.4	172.4	0.075	47.3	47.3	0.22	369.7	369.7	0.24	58.9	58.9		29
S. E.**		150.9			45.9			245.9			55.2			
Mean	2.50	2,286	2,038	0.61	914	474	4.03	4,288	4,079	4.4	590	402		154
S. E.***		61.1			18.7			317.5			22.6			

* S. E. of differences between individual treatment means.

** S. E. of differences between method means for acetate and citrate extracts.

*** S. E. of differences between general means for acetate and citrate extracts.

Total : % K₂O, MgO, CaO and N in dry weight.

Acetate and citrate extracts prepared in an NIRD macerator : µg. K, Mg, Ca and nitrate N, extracted per g. fresh weight.

All values are means for 3 blocks and for 3 sampling dates.

S. E. X 2 is approximately P < 0.05.

S. E. X 3 is approximately P < 0.01.

TABLE V

Nutrient content of Dunbar Standard potato leaves (1952) as determined by acetate and citrate extraction methods (NIRD macerator) and by total analysis.

Treatment	Potassium			Magnesium			Calcium			Nitrogen			Mean yield (ware) lb. per plot	
	Method		Total	Method		Total	Method		Total	Method		Total	Method	
	Total	Extraction		Total	Extraction		Total	Extraction		Total	Extraction		Acetate	Citrate
		Acetate			Citrate									
Nil	2.09	1,549	1,586	0.84	1,242	456	4.11	6,192	4,569	4.6	1,008	890		75
FYM	4.59	3,212	2,953	0.75	1,030	347	3.48	4,999	4,583	4.4	444	503		261
NPK	4.33	3,508	3,262	0.56	960	246	3.93	5,444	4,113	4.4	411	488		255
PK.....	4.84	3,350	3,536	0.57	949	84	3.92	5,392	4,321	4.5	571	707		205
NK	4.81	3,317	3,652	0.65	978	338	3.57	4,955	4,291	4.7	832	1,013		182
NP	1.63	1,096	1,438	0.72	1,099	377	4.02	6,851	4,813	5.0	1,145	1,185		82
S. E.*	0.135	82.5	82.5	0.037	52.0	52.0	0.25	439.2	439.2	0.2	96.4	96.4		25
S. E.*		303.2			41.4			549.5			79.4			
Mean	3.71	2,505	2,738	0.68	1,043	308	3.84	5,638	4,448	4.6	748	797		176
S. E.**		123.8			53.3			224.3			32.4			

Notes as in Table IV.

TISSUE TESTS IN RELATION TO CROP YIELDS

Attempts have been made to link the chemical status of plants with crop yields but this is more difficult as factors other than nutrient status have a profound effect on final yields of crop. Nevertheless Craig and

YOUNG LEAVES
DIFFUSION METHOD

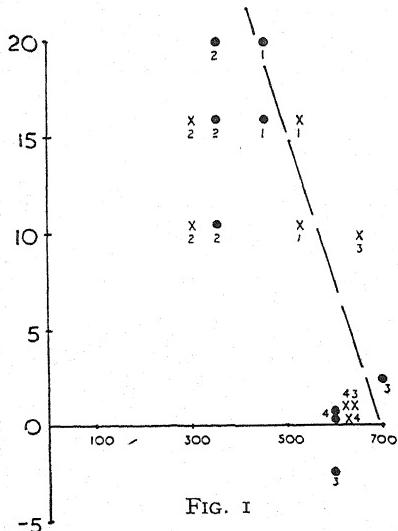


FIG. 1

OLD LEAVES
DIFFUSION METHOD

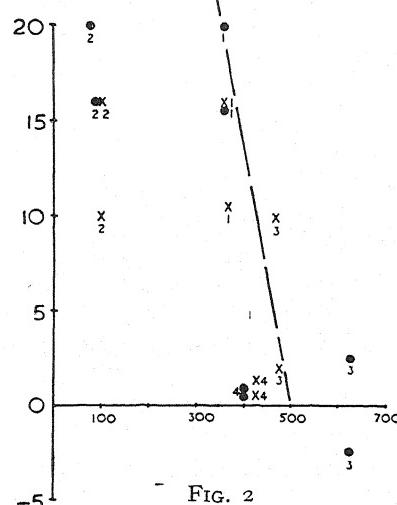
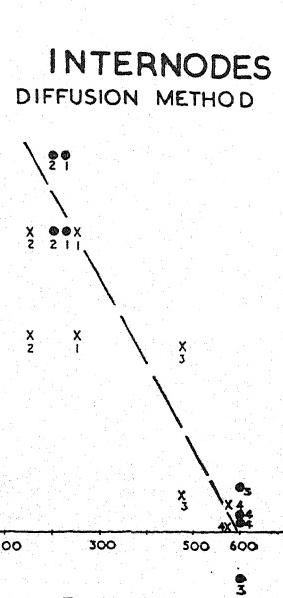


FIG. 2

FIG. 3



Halais (21) & Borden (5) found that the P content of sugar cane sap followed the yield curve closely.

BARLEY TOPS
WARING BLENDOR

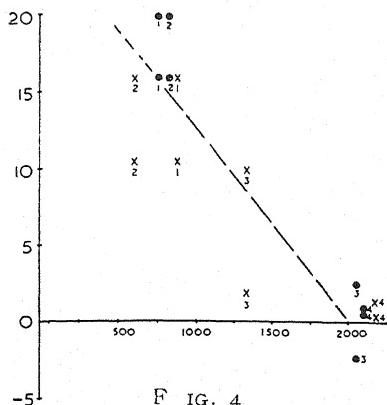
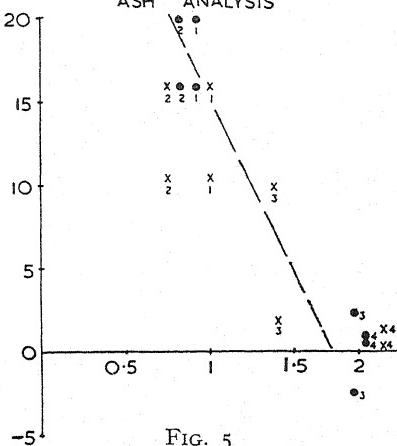


FIG. 4

Same Leg. as figures 1, 2, 3

BARLEY TOPS
ASH ANALYSIS



These values are greater than those associated with the onset of visual symptoms of K deficiency. A reduction in final yields may therefore occur when there are no external symptoms at the time of sampling so that it is only by the use of chemical methods that suboptimal levels of nutrients in relation to yields, can be determined.

The minimum value varies with the plant portion tested and by the diffusion method was found to be highest in young leaves as K is readily translocated to the meristematic tissues. The position of the regression line for K computed from the data by the diffusion method shifts towards the ordinate at the second sampling, especially for old leaves. Thus the minimum value appears to decrease as the season progresses and is probably more marked in old leaves through the movement of K to the young parts of the plant as the deficiency develops. The analysis of covariance ('r' values) for yield and mineral status of barley determined by the various methods is given in Table VII.

As was to be expected total analysis for K was better correlated with yield ($P = 0.01$). Nevertheless there is a good correlation between the two rapid methods for K and yields of barley grain. The results for Mg, Ca, P and Mn were negatively correlated with yields.

TABLE VII
Analysis of covariance ("r" values) for yields of barley grain and K status of barley determined by various chemical methods

Factors	Total analysis "Plant tops"	Waring blender "Plant tops"	Diffusion method ; mid-stem leaf
Treatment and Treatment \times sites	0.75***	0.69**	0.73**
Error	0.25	0.54	0.41
Total	0.80***	0.77***	0.62***

Treatments, treatments \times sites and error.

	P	"t"	Total "t"
*	0.05	0.5	0.32
**	0.01	0.62	0.42
***	0.001	0.74	0.52

Similar correlations have been obtained between Mn status of oat and final yields (78).

TISSUE TESTS IN RELATION TO SOIL ANALYSIS

Little information is available on the relation of tissue test results to soil analysis despite the fact that Morgan developed quick methods for determining mineral nutrients in soil extracts (70). Thornton *et al.* (98) found that the value of the quick soil tests was enhanced by tissue tests. A number of workers have shown that the results of tissue tests are a better guide to diagnose deficiencies than those of soil tests because it is difficult to find a chemical extractant for soils that will reproduce the extracting pro-

perties of the roots of higher plants. It is also known that plants behave differently with regard to the absorption of mineral nutrients from the same soil (43.66.73), so that correlations between plant tissue tests and soil data are unlikely to be close. Jones & Russell made a tissue test survey of crops grown on farms in south-west England. Soil analysis was done in 1946 and tissue tests on the crops the following spring. The diffusion method was used and the results assessed visually into high, medium and low categories. The correlation between soil and tissue analysis although positive for K and P was not close.

TISSUE TESTS AND TOTAL ANALYSIS OF PLANTS

It is not often that comparisons are made between tissue test results and total amounts of the nutrients in the tissues. At Long Ashton these comparisons are always made as total analysis is an accepted method for the diagnosis of the mineral status of plants, other than for iron. Total iron bears little relation to iron deficiency symptoms so that a number of workers have attempted to fractionate iron in plants. More recently it has been shown that considerable amount of iron is present as a contaminant on leaf surfaces and it may be removed by washing the leaves in water containing a detergent (82).

Burkhart & Page (8) showed that the P content of water extracts of peanut and cotton was closely related to the total content present.

Carolus (13. 14.15) showed that changes in N, P, K, Mg and Ca levels in acetic acid extracts were similar to those for the total amounts present in the plants. Ulrich (43) on the other hand showed that the acetic extract was a better index of the NPK status than total amounts and Lorenz (62) found the same in similar extracts of potato petioles.

At Long Ashton comparisons have been made between the results of tissue tests and analysis at intervals during the season, for crops grown in long term manurial trials (73-81). See Tables I, IV, V.

The coefficients of variation for rapid chemical tests were compared with those for total analysis. This is illustrated in Table VIII with data obtained for barley grown in factorial experiments.

The results for K show that the coefficient of variation for tissue tests are similar to those for total analysis except at centre A where the internode by diffusion method in the first sampling gave less variable results and the mid-stem leaf by diffusion method in the second sampling gave more variable results than the full chemical method. The Mg results show no significant differences between the coefficients of variation. At centre A, Ca determined by the blender method is more variable than by total analysis at the first sampling, as were all tissue test methods for Ca at the second sampling. At centre A the results for phosphorus in the internode by diffusion method (1st sampling) and those for phosphorus in the mid-stem leaf (first and second samplings) are significantly more variable than

those for total analysis. The tissue test values for Mn generally are no more variable than those by the total method; the diffusion method result for Mn in the internode is less variable than the values given by the total method.

The relation between results of total analysis and rapid chemical methods show a good agreement over the deficiency to sufficiency range but at luxury consumption values the correlation is not good (73-74).

TABLE VIII

Coefficients of variation for rapid chemical tests and total analysis
for K, Mg, Ca, P and Mn in barley.

Nu-trient	Method	Centre A		Centre B	Centre C
		1st sampling	2nd sampling		
K	Diffusion :				
	Young Leaf	8.0	5.84	6.31	6.67
	Mid-stem leaf	6.50	13.32*	9.19	10.16
	Internode	4.73*	8.98	6.36	9.68
	Waring Blender :				
	“ Tops ”	9.19	8.16	12.75	4.67
	Total analysis :				
Mg	“ Tops ”	9.60	5.20	8.56	3.36
	Diffusion :				
	Young leaf	11.77	12.17	10.43	13.68
	Mid-stem leaf	10.11	10.11	13.81	16.71
	Internode	10.87	7.21	11.39	7.62
Ca	Waring Blender :				
	“ Tops ”	12.44	14.58	15.16	18.71
	Total analysis :				
	“ Tops ”	8.24	7.82	8.72	17.57
	Diffusion :				
P	Young leaf	9.67	16.3**	15.82	15.03
	Mid-stem leaf	7.51	9.09**	12.11	11.31
	Internode	7.49	6.66**	9.09	12.05
	Waring Blender :				
	“ Tops ”	10.54**	5.55**	8.88	6.61
Mn	Total analysis :				
	“ Tops ”	3.98	0.81	7.36	7.06
	Diffusion :				
	Young leaf	7.51	14.13	14.83	8.02
	Mid-stem leaf	15.26*	3.73*	12.24	9.48
Waring Blender :	Internode	16.22**	14.65	17.19	7.91
	“ Tops ”	9.92	10.64	12.21	7.21
	Total analysis :				
	“ Tops ”	7.33	13.61	13.75	13.59
	Waring Blender :				
Total analysis :	“ Tops ”	—	—	—	—
	“ Tops ”	10.44	14.79	19.14	20.88

* P = 0.05

** P = 0.01

Data given in Table IX show such correlations.

The tissue test data are significantly correlated with those of total analysis, except for Mn in the young leaf by the diffusion method. There is

TABLE IX

The correlation coefficients ("r" values) between total analysis and the rapid chemical methods for K, Mg, Ca, P and Mn in barley at centres A, B and C.

Nu-trient	Factors	Waring blender " Tops "	Diffusion method		
			Young leaf	Mid-stem leaf	Internode
K	Treatments (T) and Treatments (T) \times Sites (S)	0.93***	0.90***	0.89***	0.95***
	Error (E)	0.24	— 0.17	0.17	— 0.05
	Total (T)	0.93***	0.75***	0.70***	0.95***
Mg	T and T \times S.....	0.84***	0.52*	0.89***	0.70***
	E	0.26	0.06	0.37	0.10
	T	0.72***	0.64**	0.89***	0.78***
Ca	T and T \times S.....	0.96***	0.90***	0.91***	— 0.93
	E	0.07	0.26	0.05	— 0.20
	T	0.94***	0.86***	0.83***	0.90***
P	T and T \times S.....	0.92***	0.82***	0.93***	0.92***
	E	0.70***	0.77***	0.55 **	0.84***
	T	0.88***	0.77***	0.62***	0.65***
Mn	T and T \times S.....	—	— 0.11	0.83***	0.83***
	E	—	— 0.27	0.25	— 0.22
	T	—	0.04	0.63***	0.78***

Treatments, treatments \times sites and error.

	P	"t"	Total "t"
*	—	0.43	0.29
**	—	0.55	0.37
***	0.001	0.67	0.46

TABLE X

Treatment correlation coefficients between total analysis and tissue test data for potato.

Season	1952				1953	
	Kerr's Pink		Dunbar Standard		Kerr's Pink	
Variety	Acetate	Citrate	Acetate	Citrate	Malonate	Succinate
Extracting Solution						
Element K	0.97***	0.93***	0.93**	0.98**	0.98***	0.98***
Mg	0.94**	0.96***	0.91**	0.93**	0.76*	0.79**
Ca	0.93**	0.98***	0.79*	0.16	0.72	0.62
N	0.96***	0.95***	0.86**	0.95***	0.85*	0.66
P	—	—	—	—	0.78**	0.85**

***, P < 0.001;

*, P < 0.01;

, P < 0.05

The "r" values for treatments are for combined samplings (3) blocks (3) and treatments (6) - 54 determinations.

no satisfactory method for testing the significance of differences between correlation coefficients as they are themselves correlated. The choice of method to be used should be based on the proximity of the '*r*' values to 1 and also on the speed with which the chemical method can be used. The Waring blender method is advantageous in estimating K, Mg, Ca, and P as the procedure gives high '*r*' values for the nutrients and it is a readily standardised and a speedy procedure. It does not however provide an estimate of Mn but in this instance the diffusion method (mid-stem leaf or internode) can be used satisfactorily to supplement the blender data.

TABLE XI
Treatment correlation coefficients between total analysis and tissue test data for cauliflower

Plant-Portion	Leaf lamina		Midrib	
	Malonate	Succinate	Malonate	Succinate
Extracting Solution				
Element K	0.87**	0.97***	0.97***	0.93***
Mg	0.71	0.26	0.85	0.75
Ca	0.85*	0.86*	0.30	0.28
N	0.92**	0.47	—	—
P	0.82**	0.91**	0.74	0.97***

***, $P < 0.001$;

**, $P < 0.01$;

*, $P < 0.05$

The "*r*" values for treatments are for combined samplings (3) blocks (3) and treatments (6)-54 determinations.

Further comparisons between the total analysis and nutrient status of acetate and citrate, malonate and succinate extracts of potato and cauliflower leaves prepared in a NIRD blender are shown in Tables X and XI (11.80.81). The '*r*' values for treatments for combined samplings (3 during the season) and six replicate treatments in three blocks are presented.

The main points are as follows:

Potassium. The tissue test results are significantly correlated with total amounts irrespective of crop, variety, extracting solution, sampling or season. In potato the four extracting solutions contained similar amounts of the nutrients. In cauliflower, malonate and succinate extracts of lamina and midrib are closely correlated with the total values.

Magnesium. The amounts extracted are again significantly correlated with total contents in potato. The malonate extract of Kerr's Pink (1953) has however a high error value and treatment '*r*' is lower than for other methods. Acetate extracts contained significantly more Mg than did the citrate or succinate extracts but this phenomenon did not affect the close agreement with total amounts in the tissues. Only the Mg in the malonate extracts of midrib is significantly correlated with total content in cauliflower.

Calcium. The correlation values for the acetate and citrate extracts are significant in Kerr's Pink (1952). In Dunbar Standard a later variety,

although the acetate correlation is good that for citrate is not. Malonate and succinate extracts of potato leaves or cauliflower midrib are not well correlated with total contents whereas those of cauliflower lamina are.

Nitrogen. Nitrate N values in acetate or citrate extracts (1952) of potato leaves are significantly correlated with total N for both varieties, so are those in the malonate extracts of cauliflower lamina but in the succinate ones the agreement is not good.

Phosphorus. The 'r' values for malonate and succinate extracts agree well with the total amounts except for the midrib of cauliflower. In subsequent experiments it was shown that the acetate extracts gave the best correlation with the total amounts present.

INTERACTION OF MINERAL NUTRIENTS

Several interrelationships for the total mineral nutrients are known and tissue test data confirm these effects. The type of interactions is best shown in fig. 6. A deficiency of K usually results in higher levels of Ca, Mg, P and nitrate N in the tissue extracts; a low N accentuates a Mg deficiency.

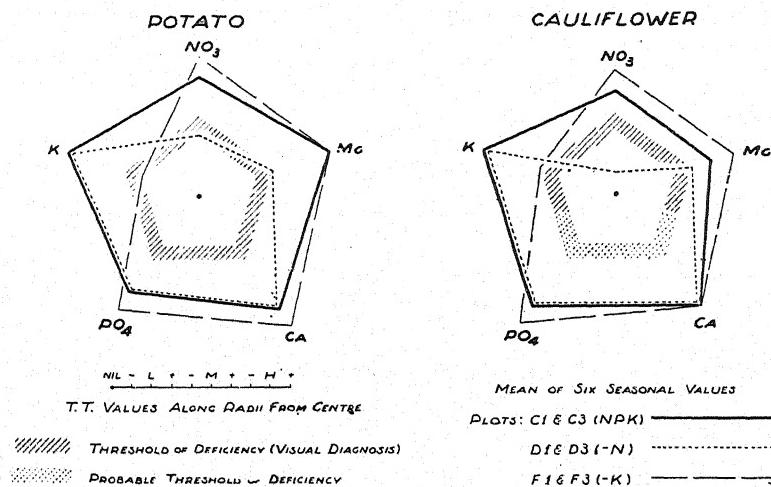


FIG. 6

Diagrams showing the relation between soluble K, Mg, Ca, PO₄ and nitrate N in acetate extracts of leaf petioles. The mean of six seasonal values for each nutrient for plants grown in the NPK (—), NP (omit K ---) and PK (omit N - - -) treatments are plotted along five radii. The threshold of deficiency levels coincide with the development of visual signs of the deficiencies of the nutrients.

CONCLUSIONS

The apparent simplicity of chemical tissue tests is often misleading. The techniques described including the sampling of *fresh* plant material, preparation of test samples, extraction, chemical testing and interpretation

of the results need great care, observing all the necessary precautions at each stage. Although differences in nutrient status of extracts of normal and deficient plant tissues may give a clue to the limiting nutrient, it is only by an intensive study of crops grown in a number of long term manurial experiments located on various soil types incorporating a range of fertility levels, that standards for normal and deficiency status can be determined. This work necessitates frequent sampling of various plant parts during the season over a period of years. It is only then that tissue tests can be satisfactorily used to determine the mineral status of crops. The extraction of fresh leaf tissue with acetate buffer in the N I R D blender is recommended as the best rapid method for determining K, Mg, Ca, P and nitrate N status of most agricultural and horticultural crops so far examined.

REFERENCES

1. ALWAY, F. J., 1928. Detection of sulfur deficiency of soils by means of plants. Proc. First Int. Congr. Soil Sci., 3, 590.
2. ATTERBERG, A. 1901. Die Variationen der Nährstoffgehalte bei dem Hafer. J. Landw., 49, 97.
3. BEAUCHAMP, C. E. 1940. The mineral composition of the alcoholic extract of potato leaves and its relationship to crop yields. Plant Physiol., 15, 485.
4. — 1942. Ibid., 17, 165.
5. BORDEN, R. J. 1936. Some interesting, cane-tonnage, purity, soil analyses, and juice-analyses relationships. Hawaii. Plant. Rec., 40, 11.
6. BRICKLEY, W. D. 1943. Diseased conditions in potatoes and peas associated with potash deficiency in South Country Kildare. J. Dep. Agric. Eire, 40, 149.
7. BROWN, R. J. 1943. Sampling sugar beet petioles for measurement of soil fertility. Soil Sci., 56, 213.
8. BURKHART, L. and PAGE, N. R. 1941. Mineral nutrient extraction and distribution in the peanut plant. J. Amer. Soc. Agron., 33, 743.
9. CAROLUS, R. L. 1933. Some significant variations in the chemical composition of the plant associated with malnutrition trouble of potatoes. Amer. Pot. J., 10, 147.
10. — 1933 a. Tomato fertilization, II. The effect of different fertilizer ratios on the chemical composition of tomatoes. Bull. Va. Truck Exp. Sta., 81, 1085-1117.
11. — 1934. Some factors affecting the absorption of magnesium by the potato plant. Proc. Amer. Soc. hort. Sci., 30, 480-484.
12. — 1935. Effects of magnesium deficiency in the soil on the yield, appearance and composition of vegetable crops. Proc. Amer. Soc. hort. Sci., 32, 610-614.
13. — 1936. Experiences with rapid chemical tests for the determination of nutrient deficiencies in vegetable crops. Proc. Amer. Soc. hort. Sci., 33, 579-583.
14. — 1937. Chemical estimations of the weekly nutrient level of a potato crop. Amer. Potato J., 14, 141-153.
15. — 1938. The use of rapid chemical plant nutrient tests in fertilizer deficiency diagnoses and vegetable crop research. Bull. Va. Truck Exp. Sta., 98, 1531-1556.
16. — 1938 a). Effect of certain ions, used singly and in combination, on the growth and potassium, calcium, and magnesium absorption of the bean plant. Plant Physiol., 13, 348-363.
17. — and BROWN, B. E. 1935. Magnesium deficiency I. The value of magnesium compounds in vegetable production in Virginia. Bull. Va. Truck Exp. Sta., 89, 1250-1288.
18. — , HESTER, J. B. and BLUME, J. M. 1938. The reliability of rapid chemical plant tests as a means of diagnosing fertilizer deficiencies in vegetable crops. Amer. Fert., 89 (1), 7-8, 24.

19. COOK, H. L. 1941. Plant tissue tests in studying effectiveness of fertilizer placement. *Proc. nat. Jt. Comm. Fert. Appl.*, 17, 38.
20. — 1941 a. Correlation of plant tissue tests with fertilizer treatments and yields of corn. *Ibid.*, 17, 38.
21. CRAIG, N. and HALAIS, P. 1941. Le diagnostic foliaire. Méthode de contrôle biochimique de l'alimentation minérale des cultures de canne à sucre. *Rev. agric. Maurice*, 23, 120.
22. EATON, F. M. 1944. Deficiency, toxicity and accumulation of boron in plants. *J. agric. Res.*, 69, 237.
23. EMMERT, E. M. 1929. The determination of nitrate in green tomato and lettuce tissues. *Plant Physiol.*, 4, 519-528.
24. — 1929 a. The chlorate method for the determination of nitrate nitrogen, total nitrogen, and other elements in soils and plant tissues. *J. Ass. off. agric. Chem., Wash.*, 12, 240-247.
25. — 1930. A method for the rapid determination of phosphate in fresh plant tissues. *Plant Physiol.*, 5, 413-416.
26. — 1931. The effect of soil reaction on the growth of tomatoes and lettuce and on the nitrogen, phosphorus and manganese content of the soil and plant. *Bull. Ky. agric. Exp. Sta.*, 314, 1-83.
27. — 1932. Field method for estimating nitrate, phosphate, and potassium in plants. *Plant Physiol.*, 7, 315-321.
28. — 1934. Tests for phosphate, nitrate and soluble nitrogen in conducting tissue of tomato and lettuce plants, as indicators of availability and yield. *Circ. Ky. agric. Exp. Sta.*, 43, 26-40.
29. — 1935. Tests for nutrients in conducting tissue as indicators for the nutritional status in horticultural crops. *Proc. Amer. Soc. hort. Sci.*, 32, 604-609.
30. — 1935 a. New methods for the determination of the availability of nitrogen and phosphorus to plants. *J. Amer. Soc. Agron.*, 27, 1-7.
31. — 1935 b. Method for quickly determining nitrogen in plants, and soluble nitrogen as a measure of the nitrogen available for anabolic processes. *Plant Physiol.*, 10, 355-364.
32. — 1936. The correlation of soluble nitrogen and phosphate phosphorus in the conducting tissues of potatoes at various stages of growth with yield. *Proc. Amer. Soc. hort. Sci.*, 33, 589-594.
33. — 1937. The use of partial linear regression to analyse the curvilinear relationship between the yield of vegetable crops and the content of nutrients in the lower main stems. *J. Amer. Soc. Agron.*, 29, 213-219.
34. — 1941. Plant tests as a guide to fertilizer treatment of tomatoes (Preliminary report). *Proc. Amer. Soc. hort. Sci.*, 38, 621-622.
35. — 1942. The importance of determining the concentration of carbon in plant extracts in diagnosing mineral deficiencies by plant tissue tests. *Proc. Assoc. south agric. Workers*, 43, 209.
36. EMMERT, E. M. 1942. Plant-tissue tests as a guide to fertilizer treatment of tomatoes. *Bull. Ky. agric. Exp. Sta.*, 430, 1-48.
37. — 1944. Use of monochloracetic acid to include ammonia in the « soluble nitrogen » tissue test. *Plant Physiol.*, 19, 562-563.
38. — 1944 a). Modification of the phenoldisulfonic acid method for potassium to increase rapidity and accuracy. *Proc. Amer. Soc. hort. Sci.*, 45, 311-312.
39. FONDER, J. F. 1929. The relationship of soil type to the calcium and magnesium content of green bean stems and leaves and of their expressed juice. *Soil Sci.*, 27, 415.
40. FUDGE, B. R. 1943. Citrus nutrition studies. Physiological studies. *Rep. Fla. agric. Sta.*, 203.
41. GASSNER, G. and GOEZE, G. 1932. Zur Frage der Frosthärtetestbestimmung durch refraktometrische Untersuchung von Pflanzenpressäften. *Phytopath.*, Z 4, 387.
42. GAUCH, H. G. and WADLEIGH, C. H. 1945. Effect of high concentrations of sodium, calcium, chloride, and sulfate anionic absorption by bean plants. *Soil Sci.*, 59, 139.
43. GOODALL, D. W. and GREGORY, F. G. 1947. Chemical composition of plants as an index of their nutritional status. *Imp. Bur. Hortic. Tech. Comm.*, 17.
44. GOSSARD, A. C. 1943. A study of methods of sampling bean leaves for total nitrogen analysis. *Proc. Amer. Soc. hort. Sci.*, 42, 109.
45. GREENHILL, A. W. 1945. Unpublished data. A. R. C. Report 7829.

46. HANCE, F. E. 1936. Soil and plant material analyses by rapid chemical methods. Hawaii. Plant Rec. I, 40, 189.
47. — 1937. Ibid., II, 41, 135.
48. — 1941. Ibid., III, 45, 265.
49. HARRINGTON, J. F. 1944. Some factors influencing the reliability of plant tissue testing. Proc. Amer. Soc. hort. Sci., 45, 313.
50. HEINRICH, R. 1882. Grundlagen zur Beurtheilung der Ackerkrume in Beziehung auf landwirtschaftliche Production (quoted by Stahl-Schröder, 1904).
51. HILL, H. and JOHNSTON, F. B. 1940. Magnesium deficiency of apple trees in sand culture and in commercial orchards. Sci. Agric. 20, 516.
52. HOFFER, G. N. 1926. Testing corn stalks chemically to aid in determining their plant food needs. Bull. Ind. Agric. Exp. Sta., 298 (revised 1930).
53. — and TROST, J. F. 1923. The accumulation of iron and aluminium compounds in corn plants and its probable relation to root rots. J. Amer. Soc. Agron., 15, 323.
54. HUNTER, J. 1949. Determination of the nutrient status of plants by a plant-analysis technique. Ist International Congress of Biochemistry, Cambridge. Abstract of Communications 251/11.
55. JACOBSON, L. 1945. Iron in the leaves and chloroplasts of some plants in relation to their chlorophyll content. Plant Physiol., 20, 233.
56. KRÜGER, W., WIMMER, G. and LÜDECKE, H. 1931. Können Kali-und Stickstoffmangel durch chemische Reaktion in Teilen von lebenden Pflanzen festgestellt werden. Ernähr. Pfl., 27, 425.
57. LAGATU, H. and MAUME, L. 1924. Etude par l'analyse périodique des feuilles de l'influence des engrais de chaux, de magnésie et de potasse sur la vigne. C. R. Acad. Sci. Paris, 179, 932. Ann. Ec. Agric. Montpellier, 22, 260.
58. LIEBICH, H. 1941. A quantitative chemical investigation of the iron in the chloroplasts and other cell components of *Spinacia oleracea*. Z. Bot., 37, 129.
59. LINBERRY, R. A. and BURKHART, L. 1943. Nutrient deficiencies in strawberry leaf and fruit. Plant Physiol., 18, 324.
60. — and COLLINS, E. R. 1944. Fertiliser requirements of strawberries on new land in North Carolina. Proc. Amer. Soc. hort. Sci., 45, 283.
61. LINDNER, R. C. and HARLEY, C. P. 1944. Nutrient interrelationships in lime induced chlorosis. Plant Physiol., 19, 420.
62. LORENZ, O. A. 1944. Studies on potato nutrition : I. The effects of fertilizer treatment on the yield and composition of Kern County potatoes. Amer. Potato J., 21, 179 and Proc. Amer. Soc. hort. Sci., 44, 389.
63. — and MINGES, P. A. 1942. Nutrient absorption by a summer crop of lettuce in Salinas Valley, California, Proc. Amer. Soc. hort. Sci., 40, 523.
64. LOWRY, W. M. and TABOR, P. 1931. Sap for analysis by bleeding corn plants. Science (N. S.), 73, 453.
65. — , HUGGINS, W. C. and FORREST, L. A. 1936. The effect of soil treatment on the mineral composition of exuded maize sap at different stages of development. Bull. Ga. Exp. Sta., 193, 1.
66. LUNDEGARDH, H. 1941. Die Tripelanalyse. Theoretische und praktische Grundlagen einer pflanzenphysiologischen Methode zur Bestimmung des Düngerbedürfnisses des Ackerbodens. Lantbrögsk. Ann., 9, 127.
67. MACGILLIVRAY, J. H., RALEIGH, G. J., HUNT, H., and VON OHLEN, F. 1935. A study of plant food deficiencies in tomatoes for the canning factory. Proc. Amer. Soc. hort. Sci., 26, 132.
68. McCOOL, M. M. 1926. Relation of soil to plant cell sap. Use of fertilisers lowers freezing point of sap - phosphorus content of plant affected. Quart. Bull. Mich. agric. Exp. Sta., 9, 60.
69. — and WELDON, M. D. 1928. The effect of soil type and fertilization on the composition of the expressed sap of plants. J. Amer. Soc. Agron., 20, 778.
70. MORGAN, M. F. 1935. The Universal Soil Testing System. Bull. Conn. agr. Exp. Sta. 372 ; revised 1937 as Bull. 392, 127-159.
71. NEEB, G. A. 1931. De Hoffer'sche ijzerreactie bij suikerriet in verband met het kali-vraagstuk. Arch. Suikerind. Ned-Ind., 39, 813.
72. NICHOLAS, D. J. D. 1946. Detection of manganese deficiency in plants by tissue tests using tetramethylidiaminodiphenylmethane. Nature, 157, 696.
73. — 1948. The application of rapid chemical tests in the diagnosis of mineral deficiencies in horticultural crops. I and II. J. hort. Sci. 24, 3, 72.

74. — 1948 *a*. The relation between the Waring blender method and other procedures for the diagnosis of the mineral status of crop plants. Rep. agric. hort. Res. Sta. Bristol, 98.
75. — 1949. The manganese and iron contents of crop plants as determined by chemical methods. J. hort. Sci., 25, 60.
76. — 1950. Some effects of heavy metals in excess on crop plants grown in soils. Rep. agric. hort. Res. Sta. Bristol, p. 96.
77. — 1951. Chemical tissue tests for diagnosis of mineral status of plants. Mimeo-graphed publication of Long Ashton Res. Sta.
78. — and FISHER, D. J. 1951. The manganese status of cereal crops in relation to yield of grain and straw. I. Field experiment on oats 1949 and 1950. Rep. agric. hort. Res. Sta., Bristol, p. 77.
79. — 1952. The potassium status of barley in relation to yields of grain. J. agr. Sci. 42, 468.
80. — 1955. The application of rapid chemical tissue tests to the diagnosis of mineral deficiencies in horticultural crops, Part III. J. hort. Sci. 30, 260.
81. — 1956 *a*. The application of rapid chemical tissue tests to the diagnosis of mineral deficiencies in horticultural crops, Part IV. Ibid., 31, 184.
82. — LLOYD-JONES, C. P. and FISHER, D. J. 1956 *b*. Some problems associated with determining iron in plants. Nature, 177, 336.
83. — 1957. Chemical tissue tests for determining the mineral status of crops. Tech. Comm. Imp. Bur. Hort. Crops (in preparation).
84. NIGHTINGALE, G. T. 1937. Potassium and calcium in relation to nitrogen metabolism. Bot. Gaz., 98, 725.
85. — ADDOMS, R. M., ROBBINS, W. R. and SCHERMERHORN, L. G. 1931. Effects of calcium deficiency on nitrate absorption and on metabolism in tomato. Plant Physiol., 26, 605.
86. OSERKOWSKY, J. 1933. Quantitative relation between chlorophyll and iron in green and chlorotic pear leaves. Plant Physiol., 8, 449.
87. PEECH, M. and ENGLISH, L. 1944. Rapid microchemical soil tests. Soil Sci., 57, 167.
88. PETTINGER, N. A. and THORNTON, S. F. 1934. A comparison of the Neubauer, plant-sap analysis, and Hoffer stalk-test methods for determining the nutrient supply of soils. J. Amer. Soc. Agron., 26, 547.
89. PLANT, W., JONES, J. O. and NICHOLAS, D. J. D. 1944. The technique of chemical tissue tests. Progress Report I. Rep. agric. hort. Res. Sta. Bristol, 79.
90. POEHLMAN, J. M. 1935. Some limitations of plant juice analysis as indicators of the nutrient needs of plants. J. Amer. Soc. Agron., 27, 195.
91. RUSSELL, R. D. and JONES, J. O. 1945. Mineral deficiency survey of Somerset (Unpublished). A. R. C. Report 7866. 13.
92. ROACH, W. A. 1945. Mineral deficiencies in agricultural and horticultural crops. Rep. E. Malling Res. Sta. for 1944, 43.
93. SCARSETH, G. D. 1943. Plant tissue testing in diagnosis of the nutritional status of growing plants. Soil Sci., 55, 113.
94. SMITH, M. E. 1944. The role of boron in plant metabolism. I. Boron in relation to the absorption and solubility of calcium. Aust. J. exp. Biol. med. Sci., 22, 257.
95. SOMERS, I. I. and SCHIVE, J. W. 1942. The iron-manganese relation in plant metabolism. Plant Physiol., 17, 582.
96. THOMAS, W. 1937. Foliar diagnosis : principles and practice. Plant Physiol., 12, 571.
97. THORNE, D. W. and WALLACE, A. 1944. Some factors affecting chlorosis on high-lime soils : I. Ferrous and Ferric iron. Soil Sci., 57, 299.
98. THORNTON, S. F., CONNER, S. D. and FRASER, R. R. 1934. The use of rapid chemical tests on soils and plants as aids in determining fertilizer needs. Circ. Ind. agric. Exp. Sta., 204, I (revised, 1939).
99. WALLACE, T. 1929. Experiments on the manuring of fruit trees. III. The effects of deficiencies of potassium, calcium, and magnesium respectively on the contents of these elements and of phosphorus in the shoot and trunk regions of apple trees. J. Pomol., 8, 23, or Rep. agric. hort. Res. Sta. Bristol, 47.
100. — 1943. The diagnosis of mineral deficiencies in plants. A colour atlas and guide. H. M. S. O. London (revised 1951).
101. WOLF, F. 1943. Rapid determination of soluble nutrients in soil and plant extracts by means of photoelectric colorimeter. Indust. Eng. Chem., Anal. Ed., 15, 248.
102. YUEN, Q. H. and HANCE, E. F. 1939. Nitrogen in cane leaf. Hawaii. Plant. Rec., 43, 163.

Le diagnostic du besoin des plantes en engrais

par V. TSERLING

Institut du Sol V. V. Dokouchaiev. Académie des Sciences de l'U.R.S.S.
Moscou

Pour diagnostiquer les besoins des plantes en matières nutritives pendant la période végétative, on utilise habituellement les déterminations quantitatives de la teneur en azote, phosphore et potassium dans les plantes et le sol. En outre, on fait encore les déterminations qualitatives et quantitatives rapides de ces éléments sur des coupes de plantes. Les réactions suivantes servent à cet effet : le dosage des nitrates, par la diphénylanime ; le dosage de l'ammoniaque, par le réactif de Nessler ; le phosphore, par réduction de l'ammoniaque phosphoro-molybdique ; le potassium, selon la coloration par dipicrylamine, ou cobalt-nitrit.

Pour établir le degré d'application de ces méthodes nous avons procédé à des déterminations nombreuses sur des plantes : premièrement, spécialement cultivées en pots ; deuxièmement — prises au cours d'expériences dans diverses régions de l'Union Soviétique.

Parallèlement aux analyses qualitatives et demi-quantitatives sur coupes de plantes, nous avons procédé à la détermination quantitative de ces mêmes éléments dans les plantes et le sol.

En outre, les résultats des analyses ont été comparés aux données fournies par les récoltes et leur structure, c'est à-dire à la quantité d'épis par plante, à la quantité de grains dans l'épi et au poids de 1.000 grains.

Dans la plupart des cas, nous avons obtenu une bonne corrélation des résultats de différentes méthodes, ce qui nous autorise à les recommander pour diagnostiquer les besoins des plantes en engrais.

Les facteurs externes et internes qui influencent la précision des résultats ont été élucidés.

La localisation des composés inorganiques à travers les organes des végétaux est différente. Plus l'organe est jeune moins il contient de nitrates, alors qu'ils sont tout à fait absents dans les tissus méristématiques. Par conséquent, lors de la diagnose de l'azote par les nitrates il ne faut pas utiliser ces jeunes parties des plantes.

L'ammoniaque se concentre principalement dans les nœuds des tiges, ainsi que dans les plus jeunes organes et tissus jusqu'aux anthères et tissus méristématiques, c'est-à-dire tout autrement que les nitrates. Des diffé-

rences ont également été établies en ce qui concerne la localisation des aminoacides, de l'acide phosphorique et du potassium.

Je m'arrêterai brièvement sur certaines méthodes que nous appliquons.

En mettant au point des méthodes pouvant être largement appliquées par les agronomes, nous avons tendu à un maximum de simplicité et à une précision suffisante.

Nous recommandons de déterminer les nitrates sur d'épaisses coupes transversales de tiges ou pédoncules de feuilles d'après la réaction universellement connue avec la diphenylamine.

Toutefois, dans certains cas, il faut également déterminer l'ammoniaque surtout lorsque la nitrification est freinée.

Nous avons procédé au dosage de l'ammoniaque dans des microcaméras par la distillation de l'ammoniaque d'une coupe traitée par une goutte d'alcali avec utilisation comme récepteur d'une goutte en suspension du réactif de Nessler. L'intensité de coloration de la goutte de réactif de Nessler comparée à l'échelle des préparations colorées de la solution modèle NH_4Cl préparée de même manière.

Nous préférons doser l'acide phosphorique sur papier filtre.

Ce papier peut être préalablement imprégné de molybdate d'ammoniaque et séché. Perpendiculairement au centre du filtre ainsi préparé on presse pendant une ou deux minutes la coupe transversale d'une tige ou d'une pédoncule de feuille. Après avoir enlevé la coupe on applique d'abord sur cette partie de la feuille de papier une goutte de benzidine à cinq centièmes pour cent dissoute dans l'acide acétique. Après séchage de la tache de benzidine, on applique une goutte de solution aqueuse saturée de sodium acétique. L'intensité de la coloration bleue est comparée à l'échelle de la solution modèle KH_2PO_4 . Lorsque cette opération est soigneusement faite, on obtient une bonne empreinte de la répartition des composés phosphoriques inorganiques dans les tissus de l'organe. Le cliché présente la répartition de l'acide phosphorique sur des coupes dans le pédoncule d'une feuille de betterave : on remarque que les phosphates inorganiques se trouvent principalement dans le système vasculaire conducteur et dans l'écorce.

Pour déterminer le potassium on place une coupe de tige au centre du filtre. On y porte une goutte de dipicrylamine de magnésium à deux pour cent. Une ou deux minutes après, la coupe est traitée par une goutte de 2N HCl qui dissout l'excès de réactif et ne dissout pas le sel potassique du dipicrylamine. L'intensité de la coloration rouge orange est comparée à l'échelle de la solution standards KCl.

L'emploi du papier filtre offre les avantages de méthode de chromatographie. On obtient ainsi des taches colorées plus nettes, ce qui facilite le dosage et augmente la précision.

D'autre part, l'utilisation du papier permet d'appliquer cette méthode à une analyse plus détaillée de la répartition de tel ou autre composé non seulement dans les organes des végétaux, mais encore dans les tissus, les cellules et leurs unités structurelles composantes.

DISCUSSION

M. MOLLE (Ineac, Congo-Belge). — *M. Molle voudrait savoir si la méthode décrite est utilisée dans la détermination du besoin en engrais ou à l'étude de l'absorption des engrais appliqués dans un essai.*

Mme TSERLING. — La méthode dont il est question est recommandée pour la solution pratique du problème de l'apport des engrais — en particulier pendant la période végétative ; elle fut vérifiée dans les conditions de la culture aux champs.

Needle composition in relation to the growth and nutrition of Japanese larch

by Dr. L. LEYTON

Department of Forestry, Oxford University, England

When the availability of a particular mineral nutrient is the sole factor limiting plant growth then, over a certain range at least, its concentration in the foliage provides a unique measure of growth ; that this does not apply when growth is also influenced by other factors is evident from the different curves relating growth to the concentration of a limiting nutrient on different soil types (eg. Mitchell and Chandler, 1939) or, more specifically, under conditions when other mineral nutrients are in short supply (Leyton, 1954). According to Lundegårdh (1941), the increment in yield following a given fertilizer application to plants with a particular concentration of that nutrient may be markedly affected by the level of other nutrients. In such cases a useful approach to the study of the relationship between yield and mineral composition is provided by multiple regression analysis, taking into account as many nutrient factors as may be thought to influence the yield. A limited example of this is given by Stone (1953) for potassium and magnesium deficient pines and a more comprehensive example with Scots pine involving five nutrient factors by Leyton and Armson (1955).

A similar approach has been adopted in an investigation into the growth — nutrient relations of young Japanese larch trees from a heathland plantation showing considerable variation in growth (cf. Leyton, 1956). For 26 trees varying in height from 65 to 350 cm, significant linear correlations were established between tree height and the concentrations of nitrogen, phosphorus, potassium and ash in needles sampled from the uppermost lateral shoots at the end of the growing season. Analysis of the multiple regression of height on the concentrations of these various nutrients revealed that only the factors N and K made significant contributions to the regression and an expression was obtained viz.

$$123.27 \text{ N} + 188.69 \text{ K} - 180.91 \text{ (where N, K = } \\ \text{concentration as \% D.wt)}$$

which gave an estimate of tree height with a standard error of + 40.5 cm. and a highly significant multiple correlation coefficient (between actual

and estimated heights) of 0.916 : in other words over 80% of the total variance in height could be accounted for in terms of the concentrations of these two nutrients and particularly in terms of the N concentration which made the greatest contribution to the regression. From these findings it was tentatively argued that under the given environmental conditions and within the range of needle composition encountered (viz. 1.13 — 2.88 % N, 0.157 — 0.417 % P, 0.38 — 1.35 % K, 0.20 — 0.59 % Ca), the height growth of the trees was limited by deficiencies in N and K, particularly in the former, in so far as increasing the concentration of either of these two nutrients in the needles would be equivalent to increasing tree height. Unfortunately the nature of the material did not allow for an experimental proof of the validity of these deductions ; though much of the variation in growth and nutrient status could probably be attributed to past applications of various fertilizers (basic slag, lime and nitro chalk) to different parts of the plantation, in the absence of detailed records, direct proof of a causal relationship between nutrient supply, nutrient concentration in the foliage and growth could not be established. In the following year (1955) therefore, a fertilizer trial was set up in a nearby plantation of similarly aged trees on a similar site which had not received any previous manuring and on which growth was much more uniform.

EXPERIMENTAL DETAILS

The treatments consisted of 3 levels of N (0.2 and 4 ozs. ammonium nitrate per plant) combined factorially with 3 levels of K (0.2 and 4 ozs. potassium sulphate per plant) and replicated 6 times to give a total of 54 plots, each containing some 12-15 trees. At the end of the growing season, 2 trees were selected at random from each plot, their growth measured and needles removed from the uppermost lateral shoots for subsequent analysis.

RESULTS

Data on height increment (i. e. length of the leading shoot), mean needle dry weight and nutrient composition are presented in Figure 1 (a-k). Mean values, adjusted for treatment effects, are given in all cases and free-hand curves have been drawn only when the responses proved statistically significant according to the analysis of variance.

There was a very significant response in height increment to the N fertilizer (1a), growth increasing to a maximum at a dosage slightly above the 2 oz. level and falling again with higher supplies ; the response to the K fertilizer however was much smaller and barely significant. The growth response to increasing N supply was also reflected in the mean needle dry weight (1b) but no significant change was brought about by increasing the K supply.

In figures 1c — 1k, the mineral composition of the needles is presented

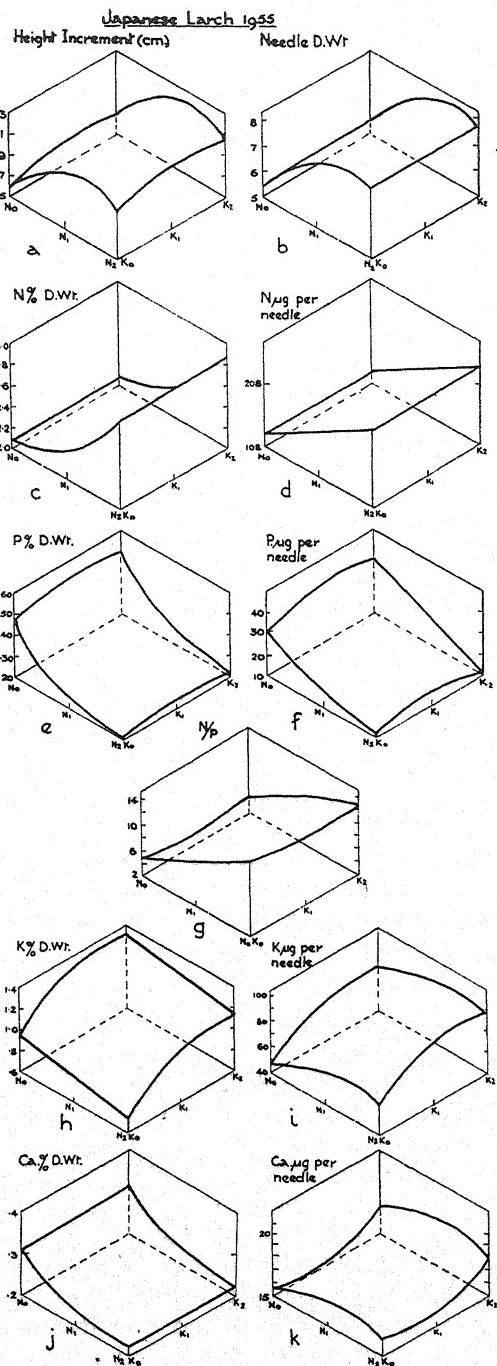


FIG. 1. — The influence of nitrogen and potassium fertilizing on the growth, needle weight and mineral composition of Japanese larch.

both in terms of concentrations (% D. Wt.) and total content per needle, the latter being readily calculated from the mean dry weight per needle and its % composition.

Whilst the absolute N content of the needles increased almost linearly with N supply (r_d) the concentration of N increased very rapidly (luxury consumption) at the higher rates of application (r_c), possibly because of the falling dry matter content of the needles at these levels : K manuring had no significant influence on the N status.

Phosphorus showed a very significant decrease in concentration with increasing N supply (r_e) ; that this was mainly due to a real antagonism is suggested by the corresponding fall in the absolute needle content (r_f). In both cases the response to the K fertilizer was small but still significant.

Particular attention is directed to the N/P ratio in the needles (r_g) : with the rapidly increasing N concentration and the falling P concentration, the N/P ratio increases almost linearly with increasing N supply from about 5 to 14. K manuring on the other hand influenced this ratio only to a very small extent.

Potassium also shows a fall in concentration with increasing N supply (r_h) but this may be largely due to false antagonism since the absolute content of this nutrient in the needles tends to increase (r_i) : the K fertilizer itself leads to an increase in both the % and absolute K contents of the needles.

False antagonism probably also accounts for the fall in needle Ca concentration (r_j) since increasing the N supply had little influence on the absolute Ca content of the needles ; K manuring on the other hand had little effect on the Ca concentration but, in combination with the N fertilizer, induced significant responses in the absolute Ca content.

An interesting feature of the above findings is that in all cases, with the exception of the absolute Ca content, statistical analysis revealed no significant interaction between the two fertilizers in their effect either on growth or on nutrient concentration in the needles.

DISCUSSION AND INTERPRETATION

Despite the very dry summer of 1955 which undoubtedly limited the response of the trees to the fertilizer amendments, the results would appear to confirm the deductions based on the previous investigation with this species, namely that growth on these heathland sites is limited by deficiencies in N and, to a lesser extent, in K. A marked feature of the response to the N fertilizer is the fall in growth at higher levels of N supply : from his investigations into the nutrition and growth of Japanese larch seedlings in pot trials, Van Goor (1953) concluded that growth was optimal over a very narrow N/P range in the needles and it is therefore of interest to see whether the present data confirm these observations. It might be mentioned that no evidence for an N/P effect was obtained in the previous investigation with this species (Leyton, 1956). The relationship is perhaps

best approached by calculating the regression of height increment on the N/P ratio, with the inclusion of an N^2/P^2 term to allow for the curvilinear function. These calculations do in fact reveal a significant curvilinear relationship between height increment and the N/P ratio ($R = 0.395$) but the significance is considerably improved when the K factor is also included in the regression. The expression,

$$1.73 \text{ N/P} - 0.069 \text{ N}^2/\text{P}^2 + 5.67 \text{ K} + 4.53$$

now provides an estimate of height increment with a standard error of ± 3.03 cm. and a multiple correlation coefficient of 0.549. According to this, maximum increment is obtained when $\text{N/P} = 12.6$ or $\text{N/P}_{\text{2O5}} = 5.5$; this accords very well with the optimum value of 4 — 5 as suggested by Van Goor and offers a possible explanation for the depressing effect of high N supplies on the growth of this species. Some confirmation of the importance of this ratio is provided by an analysis of the multiple covariance regression of height increment on the factors N/P and N^2/P^2 which yields a significant multiple correlation coefficient of 0.340; in other words, even when all treatment, block and within plot effects have been eliminated, height increment may still be significantly related to the N/P ratio and the growth responses interpreted in terms of the treatment effect on this ratio.

There are however many other ways in which multiple regression analysis may be applied to the experimental data. If all available nutrient factors are taken into account (i. e. N P K and Ca) together with the factors N^2 and P^2 and the ratios, N/P and N^2/P^2 , the multiple regression of height increment on all these eight factors yields an expression for growth with a standard error of ± 2.90 cm. and a multiple coefficient of $R = 0.622$. The analysis reveals however that only the contributions made by the factors N, N^2 and K are significant and the expression reduces to the form,

$$19.4 \text{ N} - 3.4 \text{ N}^2 + 3.0 \text{ K} - 9.9$$

giving a standard error of ± 3.21 cm. and a multiple correlation coefficient of 0.461. In this form the regression equation resembles that obtained in the previous investigation in so far as all factors other than N and K are eliminated but postulates a curvilinear response in increment to increased N concentration in the needles instead of a linear response.

Some considerable time may be spent in seeking the best expression for growth depending of course on the particular factors which are considered to be of importance in controlling growth. As far as the above examples go, they provide an interesting insight into the nature of the relationship between nutrient supply, needle composition and growth but it is evident at this stage at least, that the interpretation of the results rests largely on the particular approach adopted. Whether interpretations based on nutrient ratios are of more fundamental significance than those based on nutrient concentrations is still difficult to decide. As would be expected, there is a high degree of correlation between the N concentration and the N/P ratio

in the needles ($R = 0.757$) : this, combined with the marked depressing effect of N supply on the P status of the needles raises further problems concerning the P nutrition of the trees in that, at the higher levels of N supply, the P concentration in the needles falls to a level at which it may itself be controlling growth. Further trials in which phosphatic fertilizing has been introduced may help to clarify this point.

It will also be noted that in all the regressions mentioned above, a considerable proportion of the total variance in growth still remains unaccounted for : the problem as to whether other nutrient combinations would improve this, whether other nutritional factors as yet undetermined are involved or whether the particularly dry summer limited the response still remains unsettled.

BIBLIOGRAPHY

- LEYTON, L. 1954. The growth and mineral nutrition of spruce and pine in heathland plantations. Inst. Pap. Imp. For. Inst. Oxford, no 31.
- LEYTON, L. 1956. The relationship between the growth and mineral composition of the foliage of Japanese larch. Plant and Soil 7, 167.
- LEYTON, L. and ARMSON, K. A. 1955. Mineral composition of the foliage in relation to the growth of Scots pine. For. Sci. 1, 210.
- LUNDEGÅRDH, H. 1941. Die Tripelanalyse. Lantbruks-Högskolans. Ann., 9, 127.
- MITCHELL, H. L. and CHANDLER, R. F. 1939. The nitrogen nutrition and growth of certain deciduous trees of Northeastern United States. Black Rock For. Bull. No. 11.
- VAN GOOR, C. P. 1953. The influence of nitrogen on the growth of Japanese larch (*Larix leptolepis*). Plant and Soil 5, 29.

DISCUSSION

Dr TAMM (Suède). — I thank Dr Leyton very much for his interesting lecture, and particularly for his carefulness regarding the causal interpretation of statistical correlations. I should like to come back to some instances of mutual interactions of different elements after my own lecture, which is to follow this one. There is only one thing I would like to ask Dr Leyton : Would it be possible that phosphate application may influence root growth, and thereby tree growth, in spite of the fact that it has not affected the P concentration in the needles ?

Dr LEYTON. — Although in the experiment just described, P fertilization had no significant effect either on the P content of the needles or on growth, the question raises matters of importance in interpretation. I can think of few cases where a response in growth to a particular nutrient, even if a result of root growth stimulation, would not be accompanied by some change in foliar concentration ; the Steenbjerg effect provides one possible case. Root growth and foliar activity are closely linked and generally it is impossible to discuss them separately. Even in the case of a soil moisture deficiency, when a larger root system may promote shoot growth through increased water uptake, would not this be also accompanied by increased nutrient uptake and, unless both responses were exactly balanced, by a change in the composition of the needles ?

Dr CAIN. — *The failure to obtain response to added P or to increase the leaf P in larch is perhaps due to limitation in available P which can be obtained in the soil. This is limited especially in calcareous soils by its solubility. Failure to obtain response to P is common in the U. S. A. and we feel that with tree crops P is not generally limiting because of their perennial nature as contrasted to annual crops which readily respond to P on the same soil.*

R. — It is generally believed that in Britain, there are many acid soils deficient in P for tree growth but the evidence comes almost entirely from P applications made at the time of planting when site conditions have been disturbed. Few trials have been made at later stages of growth. In my own experience on these soils, N deficiencies far outweigh other soil limitations when conditions have settled down again but more intensive P trials are now being made and the results are awaited with interest.

M. FERRAND. — *Il y a certains rapports entre éléments minéraux dans les plantes qui paraissent fondamentaux. Dans beaucoup d'espèces très éloignées les unes des autres, on trouve un rapport N/P vers 14 à 16 lorsque les plantes paraissent les mieux nourries et sont les plus productives.*

R. — Agreed. It would appear hardly coincidental that so many different species provide evidence of this optimum N/P ratio but the physiological significance of this is still unsolved.

M. MADGWICK (Grange-over-Sands, Lancashire). — *Can Dr Leyton give us some indication of the absolute amount of elements taken up by the leaves of various plots.*

R. — I have shown figures for mean total content of individual needles sampled from a particular part of the crown but without further data for other parts of the crown and for the total needle weight, I have no information on total nutrient uptake by the foliage.

Dr UEXKULL (Hannover). — *Bei vielen Pflanzen, z. B. Mais, Citrus Reben, u. a. ist die Beobachtung gemacht worden, dass bei einer Anwendung von Kalium der Phosphorgehalt des Blätter steigt. Ich möchte Dr Leyton fragen ob er die gleiche Beobachtung im Falle der Lerche gemacht hat.*

R. — I have also observed such a phenomenon in larch ; in the experiment just described, the application of K, at least up to the middle dosage, increased both the % and total content of P in the needles. Statistical analysis of the data also reveals a significant linear correlation between the P & K concentrations in the needles, not only based on total variances (i. e. concentrations determined by treatment and location) but also on residual variances (i. e. when the influence of treatment and location has been eliminated).

The effects of nitrogen fertilization on tree growth and foliage composition in a forest stand

by Carl Olof TAMM

Forest Research Institute, Stockholm 51, Sweden

The present paper deals with some effects of application of ammonium nitrate on a forest stand deficient in nitrogen, and particularly with changes in foliage contents of other nutrients due to the treatment.

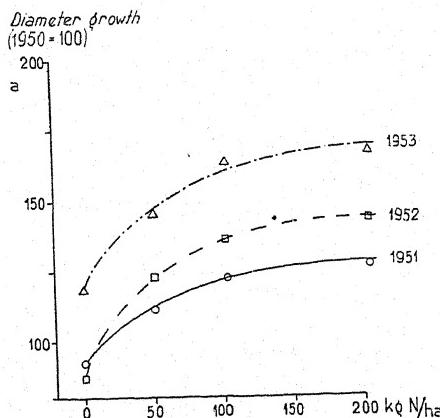


FIG. 1. — Mean annual diameter growth of dominant pines plotted versus nitrogen addition. Values expressed as percentages of the growth in 1950, the year before fertilization.

which was watered out in amounts roughly corresponding to 50, 100, and 200 kg N per hectare. The trees apparently benefitted from the fertilization, and a quantitative measure of the growth increase was obtained by measuring increment cores, collected in 1954. Fig. 1 shows the relative diameter growth of the dominant pines in 1951, 1952, and 1953 as a function of nitrogen addition. The curves fit Mitscherlich equations, as in the experiments of Mitchell and Chandler (1939). Apparently an addition of 200 kg ni-

Most of the experimental data have been published recently (Tamm 1956), and will only be discussed briefly here, except where they bear on direct or indirect interrelations between the contents of different elements.

Some fertilizer experiments were laid out in April, 1951, in a 30 year-old pine stand containing some admixed birch and spruce. The soil was a mineralogically poor but not very dry sand in South Sweden, Mölna Field. One of the experiments consisted of addition of ammonium nitrate,

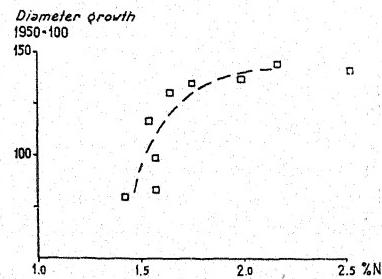


FIG. 2. — Correlation between diameter growth in 1952 and nitrogen concentration in current pine needles in October 1951. Each dot represents the average value for the dominant pines within one plot.

trogen per hectare brings the nitrogen supply to a point, not very far from the optimum, for some time.

The nitrogen contents of the pine needles were studied by annual samplings, and for the years 1952 and 1953 diameter growth was found to depend on the nitrogen content the autumn before (Fig. 2 and Tamm l.c.). If the relationship between growth and nitrogen concentration in the pine needles is essentially the same in other sites, the curve in Fig. 2 can be used to classify pine stands according to their nitrogen status : if the nitrogen content of well-exposed current needles harvested in late autumn is 2 to 2.5 per cent of the dry weight, nitrogen supply appears almost optimal; if the nitrogen concentrations is lower, particularly if it is lower than 1.75, nitrogen supply is a factor limiting growth. There is at present no evidence speaking against this conclusion ; yet the interrelations between needle nitrogen, needle mineral contents, and soil moisture ought to be better established before we can regard it as more than a working hypothesis. In any case pine needles containing more than two per cent of nitrogen are seldom found in Swedish forests.

So far the possibilities of using foliar analysis to discover whether forest growth is limited by deficiency in *nitrogen* seem very good, and results to date are encouraging. Concerning other elements, there is no clear evidence for the

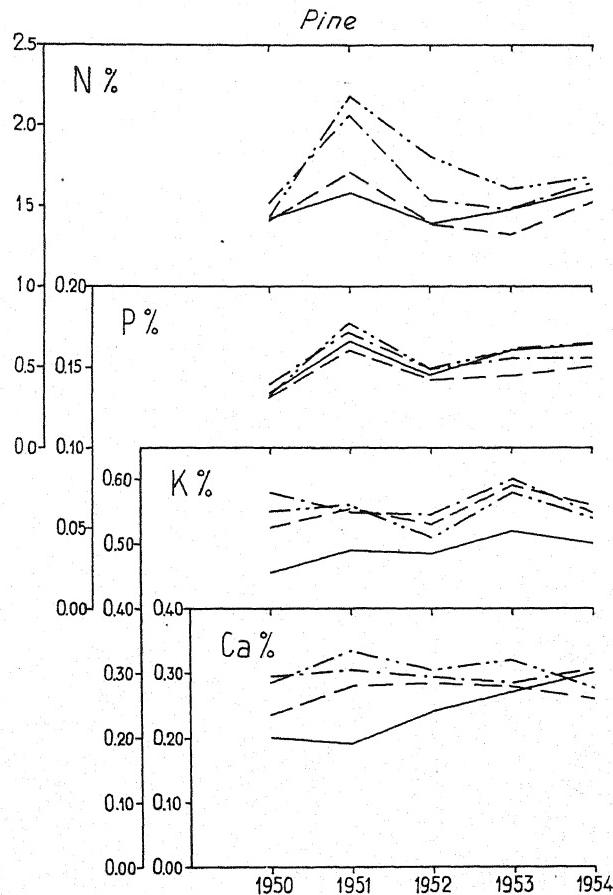


FIG. 3. — Contents of nitrogen, phosphorus, potassium, and calcium in 1 1/2 year-old needles from four dominant pines in each treatment during the period 1950-1954. N1 means 50 kgN/ ha, N2 100 kg, and N4 200 kg.

— 0 — · — N2
— - - - N1 — - - - N4

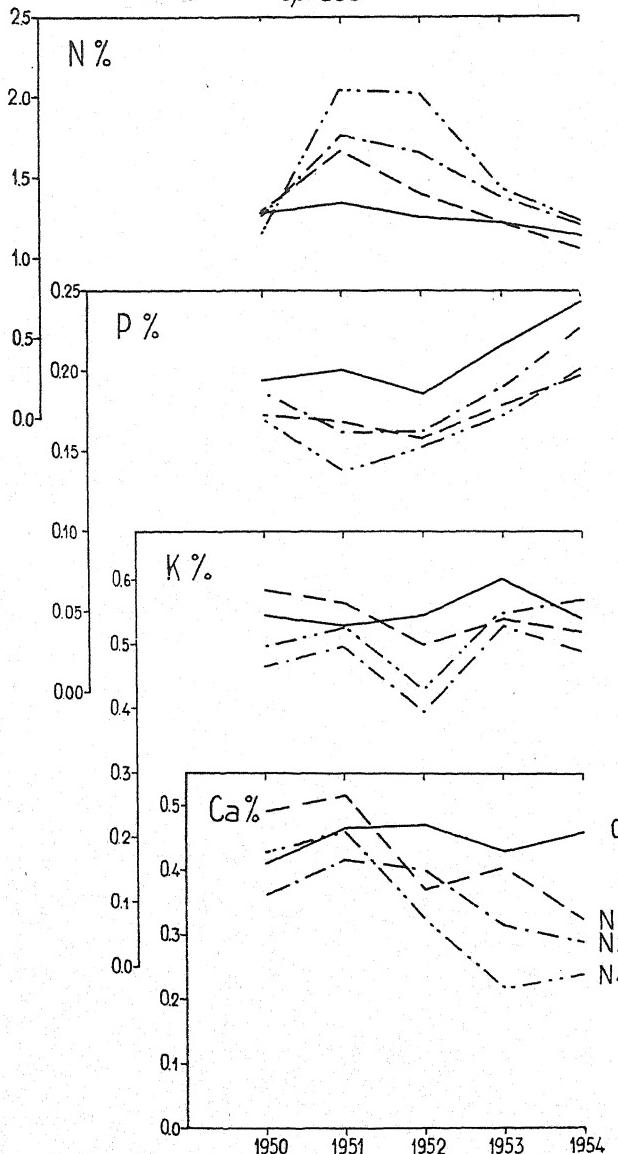
Spruce

FIG. 4. — Contents of nitrogen, phosphorus, potassium, and calcium in 1 1/2 year-old needles from four spruces in each treatment during the period 1950-1954. For treatment symbols, see fig. 4.

in respiration losses during drying is not likely to affect in different directions.

Secondly Figs. 3 and 4 provide information regarding the changes in

occurrence of specific deficiencies at Mölna, and the foliar concentrations of at least phosphorus, potassium, and manganese are well above the deficiency ranges found in other experiments (Tamm l. c.).

Annual sampling of needles and leaves from the same trees (Figs. 3 and 4 and Tamm l. c.) has yielded results which appear to be of general interest for the practice of foliar analysis. Firstly they show changes in the contents of different nutrients from year to year not only in the fertilized plots but also in the controls. Some of these changes, however, may possibly be due to differences in dry weight losses during air-drying in different sample series (cf. White 1954). These losses appear to be of much less importance in spruce than in pine needles (Tamm in prep.) ; moreover a change

needle nutrient concentrations due to addition of ammonium nitrate. The needle nitrogen contents behave very similarly in both pine and spruce: beginning with a rapid increase, roughly proportionate to the addition, and followed by a decrease toward the original contents. Although the difference is not very large, it may be noted that the N I treatment (50 kg N per hectare) results in lower final nitrogen concentrations than the control.

In the case of the needle minerals, there is a large difference between pine and spruce, the contents of pine needles being almost unaffected by the treatment, while those of spruce needles seem to be very sensitive to ammonium nitrate addition. Birch leaves are most like spruce needles in this respect (Tamm l. c.). Needle phosphorus concentration in spruce decreases even during the first year after fertilization, and then remains low. Potassium concentration decreases in the second year after treatment, and later increases again. Calcium concentration decreases simultaneously with the potassium concentration, but no evidence was found of a recovery throughout the observed period.

Table 1 shows some data from a recent experiment in a 50 year-old spruce stand at N. Forsnäs, province of Värmland, where ammonium sulphate was added instead of nitrate. The nitrogen addition has depressed the concentration of phosphorus in the spruce needles, except where phosphate was given together with the ammonium sulphate. Whether or not there is any influence on potassium and calcium concentrations will show up in the next few years.

The data in Table 2 show the effects of large additions of minerals on the foliage composition, and thus form a kind of complement to the data

TABLE 1

Nutrient contents of well-exposed current spruce needles, collected in October 1954 and 1955 from an experiment at N. Forsnäs, province of Värmland. The plots were fertilized in October 1954, and the treatments were as follows : 10 metric tons of CaCO_3 per hectare to plots Nos. I and II, ammonium sulphate containing 100 kg N per hectare to plots Nos. II, IV and V, and 1 700 kg per hectare of so-called potassium superphosphate, containing 13.3 per cent of P_2O_5 and 13.3 per cent of K_2O to plots Nos III and IV. All values are percentages of the needle dry weights.

Element	Year	Treatment					
		I CaCO_3	II $\text{N} + \text{CaCO}_3$	III $\text{K} + \text{P}$	IV $\text{N} + \text{K} + \text{P}$	V N	VI Control
N	1954	1.43	1.30	1.38	1.28	1.42	1.42
	1955	1.44	1.56	1.38	1.55	1.61	1.39
P	1954	0.192	0.176	0.200	0.166	0.184	0.186
	1955	0.189	0.159	0.202	0.193	0.163	0.177
K	1954	0.95	0.86	0.84	0.80	0.88	0.84
	1955	0.88	0.78	0.86	0.85	0.80	0.87
Ca	1954	0.58	0.59	0.72	0.65	0.56	0.50
	1955	0.56	0.51	0.66	0.59	0.51	0.51

TABLE 2

Nutrient contents of well-exposed, 1 1/2-year-old pine needles and green birch leaves from Experiment No. 875, Mölna Field. The plots were fertilized in May, 1953, and the treatments were as follows: 7 500 kg per hectare of gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$) to plot No. II, 2 500 kg per hectare of potassium superphosphate (see Table 1) to plot No. III, and 5 000 kg per hectare of calcium carbonate to plot No. IV. Pine needles were sampled about November 1, birch leaves about September 1. All values are percentages of the sample dry weights.

Plot No.	Treatment	Pine needles			Birch leaves				
		1952	1953	1954		1952	1953	1954	1955
I	Control	1.56	1.50	1.38	% N	2.04	2.00	2.06	2.12
II	+ CaSO_4	1.45	1.36	1.26		1.97	2.25	2.02	2.04
III	+ KP	1.48	1.49	1.42		2.14	2.37	2.00	2.19
VI	+ CaCO_3	1.54	1.48	1.39		2.28	2.26	2.12	2.27
VII	Control	—	—	1.48		1.96	2.00	1.86	2.11
I	Control	0.178	0.172	0.162	% P	0.31	0.31	0.30	0.32
II	+ CaSO_4	0.155	0.152	0.146		0.30	0.34	0.36	0.32
III	+ KP	0.172	0.170	0.168		0.25	0.85	0.58	0.53
VI	+ CaCO_3	0.164	0.162	0.151		0.35	0.31	0.27	0.29
VII	Control	—	—	0.156		0.24	0.30	0.25	0.25
I	Control	0.57	0.59	0.52	% K	0.72	0.69	0.74	0.83
II	+ CaSO_4	0.54	0.58	0.48		0.65	0.65	0.65	0.76
III	+ KP	0.60	0.69	0.62		0.63	1.20	1.07	1.10
VI	+ CaCO_3	0.54	0.56	0.46		0.79	0.73	0.75	0.77
VII	Control	—	—	0.50		0.64	0.63	0.62	0.64
I	Control	0.33	0.34	0.38	% Ca	0.62	0.61	0.69	0.65
II	+ CaSO_4	0.26	0.29	0.38		0.68	1.04	1.51	1.17
III	+ KP	0.22	0.40	0.42		0.74	0.85	1.43	1.15
VI	+ CaCO_3	0.15	0.22	0.30		0.46	0.65	1.10	0.84
VII	Control	—	—	0.44		0.56	0.69	0.94	0.71
I	Control	—	—	—	% Mn	0.26	0.25	0.28	0.24
II	+ CaSO_4	—	—	—		0.33	0.46	0.41	0.25
III	+ KP	—	—	—		0.32	0.34	0.34	0.25
VI	+ CaCO_3	—	—	—		0.25	0.28	0.35	0.22
VII	Control	—	—	—		0.22	0.26	0.32	0.26

from the ammonium nitrate experiment. This experiment was laid out in May, 1953, and no growth measurements are yet available. Calcium sulphate appears to have temporarily increased the manganese contents of birch leaves, and perhaps also their nitrogen content. Apart from this there is no evidence at all for a *direct* influence of the concentration of mineral nutrients in the soil upon foliar nitrogen concentrations.

DISCUSSION

The data presented show important physiological differences between the different tree species. The lesser effect of nitrogen addition upon mineral nutrient concentrations in pine needles may perhaps be explained by their presumably lower requirements for such nutrients, which are more nearly met at Mölna Field than are the mineral demands of the spruce. If

this is so then other factors may, like nitrogen addition, also be expected to have less effect on mineral concentrations in pine than upon those in spruce. Nevertheless, the cause of the differences in nutrient physiology may also be found in the rooting habits or in mycorrhizal relations.

The concentrations in spruce needles of the three mineral nutrients studied respond in diverse ways to nitrogen addition, and different explanations are therefore necessary in each case. As the growth increase caused by the treatment was small in the first summer, according to both visual observations and growth measurements (Fig. 1), the rapid decrease in needle phosphorus is not likely to be a "dilution effect" in the sense of Lundegårdh (1945), caused by the increase in living tissue. On the other hand the "dilution effect" seems to be the obvious explanation of the decrease in needle potassium and calcium during the second year after treatment. The reason why the curves for these two elements diverge during the third and fourth year is however completely unknown. The decrease in phosphorus concentration during the first summer after treatment may possibly be explained by an increased consumption of soil phosphorus by the microflora, which in forest soils is likely to be stimulated by an addition of soluble nitrogen compounds.

The "dilution effect" is probably responsible not only for the decrease in potassium and calcium concentrations, but also for the simultaneous decrease in nitrogen percentages. The decrease of needle nitrogen in N 1 plots below that in the controls might perhaps be taken to suggest that a limited nitrogen addition can increase growth to a greater degree than corresponds to the amount of added nitrogen. If this is so, the effect is suggestive of the peculiar phenomena studied by Steenbjerg (1951, 1954) and Carles (1954).

Direct effects of ammonium and nitrate ions on the uptake of other ions (e. g., by ion antagonism) are not impossible in the present experiment. Yet the large influence of ammonium nitrate additions on the foliar concentrations of minerals can hardly be explained in this way, particularly as the direct effects of soil mineral supply on foliage nitrogen are small, to judge from Table 2.

The interrelations between the concentrations of different elements in tree foliage seem to be of great importance for the possibilities to base foliar analysis methods on a safe physiological foundation. The present data show that the relationship can be both complex and variable from species to species. In work on agricultural and horticultural plants there are seldom opportunities to study long term effects of single nutrient additions, and for this reason results obtained on forest trees may be of general interest.

RÉFÉRENCES

- CARLES, J., 1954. La physiologie normale du blé. Analyse des Plantes et Problèmes des Engrâis minéraux. 1 : 101-110. Paris.
 LUNDEGÅRDH, H., 1945. Die Blattanalyse. Jena (English ed. London, 1951).

- MITCHELL, H. L. et CHANDLER, R. F. Jr., 1939. The nitrogen nutrition and growth of certain deciduous trees of Northeastern United States. With a discussion of the principles and practice of leaf analysis as applied to forest trees. Black Rock Forest Bull. 11 : 1-94.
- STEEENBJERG, F., 1951. Yield curves and chemical plant analyses. Plant and Soil 3 (2) : 97-100.
- 1954. Manuring and plant production. Analyse des Plantes et Problèmes des Engrais minéraux. 1 : 31-34. Paris.
- TAMM, C. O. 1956. The effects of supply of plant nutrients to a forest stand on a poor site (Swedish with an English summary). Medd. Statens Skogsforskn. Inst. 46 (3) : 1-84.
- WHITE, D. P., 1954. Variation in the nitrogen, phosphorus, and potassium content of pine needles with season, crown position, and sample treatment. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 18 (3) : 326-330.

DISCUSSION

Dr LEYTON (Dept. of Forestry-Oxford-University). — *How much variations in nutrient concentration from year to year can be attributed to variations in weather or to redistribution within the tree.*

Dr TAMM. — We have studied the variations in nutrient concentration from year to year, but our series of observations is not yet long enough to enable us to establish a correlation with climatic conditions. It may, however, be mentioned that spruce needle composition in the autumn of 1955, after an extremely dry summer, differed little from the composition in the autumn of 1954 and earlier years. Variations in nutrient concentration due to redistribution within the tree can be expected where the growth changes strongly from year to year, but not otherwise (always supposed that the samples are collected at a suitable season).

Vogel. — *Les courbes présentées par l'auteur sont établies au moyen d'un seul point par année. Peut-il nous dire s'il a étudié les variations saisonnières au cours d'une même année.*

R. — The seasonal variations in nutrient content of pine and spruce needles have been studied (Meddelanden Statens skogsforskn. inst. 45 n° 5, 1955). The dry weight percentages of nutrients in needles show a maximum in late autumn and winter and a very distinct minimum in early summer. The curves for needles of different age run parallel, except for the youngest needles, which have a low content of cellulose and other wall substances during their first summer.

MADGWICK (Grange-over-Sands-Angleterre). — *How does the nutrient content vary from year to year as the leaves mature ? Does this result reflect the effect of increasing age or is it caused by loss of needles of higher N, P or K content in needle fall ?*

R. — The variation from year to year in nutrient percentage (measured in late autumn) is relatively small in comparison with the seasonal variation. The decreasing percentages of N, P, and K in ageing needles may be explained either by a decrease in nutrient content or by an increase in needle dry weight. Both processes are possible, but spruce needles on marked shoots were found to change their dry weight very little over a period of two years. According to my opinion, a preferential abscission of needle high in N, P, and K is much less likely than the suggested alternative explanations.

CAIN. — Does Dr Tamm account for the seasonal nutrient concentration curve by corresponding total absorption changes or is the early decrease in the concentration in old needles due to redistribution due to demand made by new growth taking place simultaneously?

R. — The decrease in nutrient percentages in old needles during spring and early summer is mainly caused by a temporary increase in dry weight content of the needles. Presumably photosynthates are stored in the needles, and are later used for the young growth. Nutrients are also translocated from the needles during summer, but to a much lower extent than the photosynthates. An experiment with P³² shows, however, that in spite of the small changes in total phosphorus content, there is both an uptake from the soil and a very intense redistribution of phosphorus between older needles and other parts of the tree (Meddelanden Statens skogsforskningsinstitut. 45 n° 6, 1955).

Using leaf symptoms and foliar analyses to diagnose fertilizer needs in California vineyards

by James A. COOK and Thomas KISHABA¹

Diagnosis of the nutrient needs of crop plants involves a consideration of two levels : deficiencies that are severe enough to cause clear-cut visual symptoms, and deficiencies of the so-called « hidden hunger » zone, where the lower level just fails to cause obvious symptoms and the upper level is the point beyond which adding a particular nutrient will no longer give yield increases.

As a general rule, the acreage of any particular crop falling into the first category is of little economic importance or else does not long remain so, provided that problems of nutrient uptake are not involved. However, plants with visual symptoms of some nutrient disorder are of utmost interest to the specialist in plant nutrition. Investigational work that may eventually establish a basis for detecting hidden needs is greatly accelerated by identifying the visible symptoms associated with severe deficiencies. If such occur naturally in the field, qualitative leads may often be obtained by exploratory treatments or by abnormal variations in soil or foliage analyses, and verification may be made by determining the element that alleviates the condition.

From such limited preliminary investigations, criteria are oftentimes obtained that help to locate areas where hidden deficiencies might exist and where well-replicated, quantitative studies may be successful in showing crop increases under such conditions. An accumulation of data from such trials — with and without yield increases — will help evaluate the limits of diagnostic criteria and increase their usefulness in fertilizer recommendations.

It may be seen, however, that obtaining data of this type involves much time and expense, even when one has the starting advantage of visually affected plants. Without such plants, the research worker may develop visual symptoms in plants grown under controlled nutrient conditions or else obtain some survey-type basis for selecting areas for quantitative field tests.

(1) The authors wish to acknowledge the competent laboratory and clerical assistance of Mrs Arlena Rea in the preparation of this report.

Regardless of the approach, all theories, survey data, and criteria must be subjected finally to field tests of yield increases or quality improvement before they can become of practical use in diagnosing hidden or incipient deficiencies.

CALIFORNIA VINEYARDS

Nearly 500,000 acres are planted to grapes in California. Eighty per cent of these are planted in irrigated inland valley soils while 20%, consisting almost entirely of the better known wine varieties, are grown in coastal areas that are unirrigated and depend on storage of winter rainfall by the soil. Forty per cent of the total state acreage is planted to one variety, Thompson Seedless, all of which is located in irrigated inland valley or desert soils, the most common planting distance being 8 ft. by 12 ft.

Nutritional investigations with California vineyards have been in progress since 1941 except for interruptions caused by wartime and, subsequently, by change in research personnel. These studies, currently in progress, have been based on semi-survey type field trials, visual symptoms, and foliar analyses.

NITROGEN STUDIES

With somewhat of a survey approach, Williams (16, 17) established state-wide fertilizer trials involving some 27 typical California vineyards over periods of 2 and 3 years. Neither soil nor foliar analyses were made during the period of these trials; results were judged on the basis of yield, fruit quality, and vine growth. In general there was good correlation between yield and vine-growth results. Several vineyards showed yield increases on the order of 30 to 50%, about half were nearer 10%, a few showed appreciable decreases in yield, and about one-fourth of the total records showed no appreciable effects at all. Fruit maturity was delayed in some cases, but with only a 1-to-3-day lag behind unfertilized plots.

In 1942 Ulrich (13) published the results of a nitrogen fertilizer experiment conducted in a single California vineyard in which a yield increase was obtained. His foliar analyses showed the widest differences between fertilized and unfertilized vines to be in the nitrate contents of the petioles — as much as a tenfold difference in nitrate as compared to a 10 to 15% difference in total nitrogen.

In 1951 a study was begun by the authors to test the possibility that petiole nitrate content might be used as a criterion of nitrogen need by the grapevine. Approximately 50 vineyards located throughout the grape-growing areas of California were originally selected. Plots of 20 vines each were laid out with 6 replications of fertilized vs unfertilized plots. Ammonium sulfate at the rate of 100 pounds actual nitrogen per acre was applied each year before growth started. Leaf and petiole samples were

taken at monthly intervals, beginning at bloomtime and ending after harvest. All 20 vines were sampled by taking 3 petioles per vine from the basal one third of 3 different shoots and compositing for a 60-petiole sample. So far as possible, samples were taken from this location throughout the season. Nitrate and total nitrogen analyses were made on these petioles, and the leaf blades were used for analyses in a survey of cation levels subsequently to be discussed.

Thompson Seedless is the predominant variety in California, and the data from representative vineyards located in the most concentrated grape-growing region of the San Joaquin Valley were averaged to establish the typical seasonal curves for both nitrate and total nitrogen of petioles of this variety. These curves are shown in Fig. 1, with both fertilized

and control plot values included. The use of semi-log plotting makes it possible to place the curves for both nitrate and total nitrogen on a single graph, which emphasizes the much greater percentage difference to be found with nitrate determinations than with total nitrogen values. For example, at the bloomtime sampling, the fertilized plots

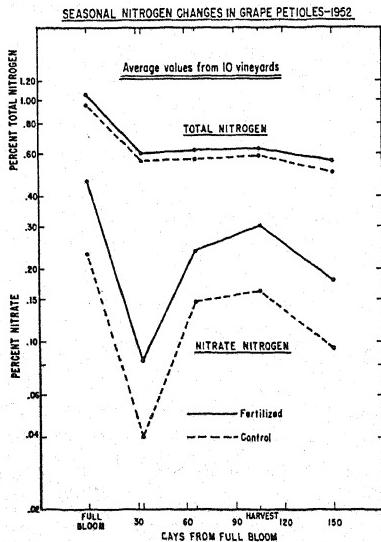


FIG. 1. — Seasonal nitrogen levels in grape petioles, Thompson Seedless variety, California, 1952.

show about 10% more total nitrogen, but 100% more nitrate, than do the controls.

When petiole analyses and yield records for two seasons were complete, all combinations were analyzed statistically for any possible correlation. The only significant correlation was between bloomtime nitrate level in the control plots taken the first year — the initial, level — and the yield effects after the second

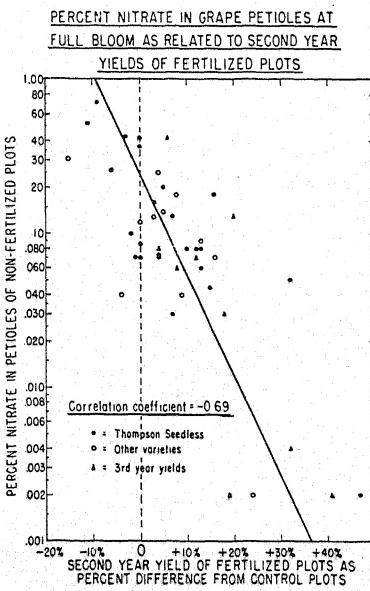


FIG. 2. — Second year yields of fertilized plots as related to bloomtime nitrate level in petioles. Yields expressed as percent difference from control yields.

year of fertilization. The scatter diagram for this relationship is presented in Fig. 2.

Here, on the vertical axis, are plotted the bloomtime nitrate values of petioles taken from control plots the first year. The change in yield resulting from nitrogen application for two consecutive years is plotted on the horizontal axis in terms of percentage change from the control yield; no difference in yield being represented by the vertical dotted line. Excluding the third-year yields, represented by triangles, 35 values are plotted in Fig. 2. To be statistically significant at the 1 per cent level, the correlation needed to be minus 0.43. The correlation value of minus 0.69, therefore, represents odds, of much better than 99:1 that for these vineyards the bloomtime petiole nitrate level is inversely related to the type of yield response desired from nitrogen applications.

The scatter diagram is best fitted by a straight line in this semi-log plot. This indicates a geometric rather than arithmetic progression in this relationship. Thus, small differences in nitrate content in the range below 0.20%, for instance, have much greater effect on the magnitude of predicted yield response than an equal difference in higher levels. Compare, for example, the predicted yield increases of 22%, 87%, and 2% with equal nitrate increments of 0.09 at points 0.01, 0.10, and 0.19%, respectively. The vines thus become increasingly less responsive with further increments of initial nitrate level, and in the range where yield decreases might result, relatively large differences in nitrate show only small differences in predicted response.

The data here indicate, both by regression line and individual vineyards showing actual yield reductions, that optimum nitrogen status has an upper limit. The less sensitive response to nitrate differences in this excess range might account for failure to detect such detrimental effect in many instances.

The more frequent yield increases from second-year nitrogen applications is in agreement with the results that Walters (14) found in vineyard fertilizer trials in Australia, in which increases of 8 to 18% were found most often in the second year of fertilizing with 300-400 pounds of ammonium sulfate per acre per year.

First-year yields did not show significant correlation with

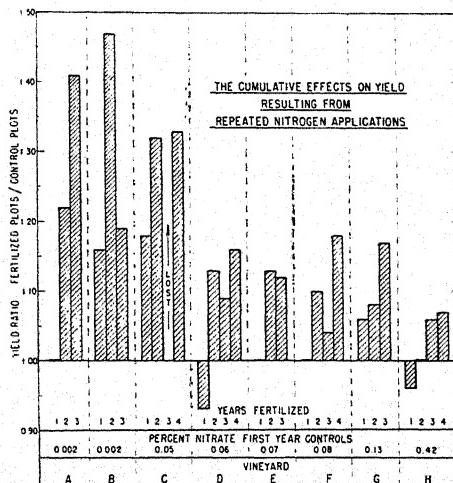


FIG. 3. — The cumulative effects on annual grape yields resulting from repeated nitrogen applications. A typical range of Thompson Seedless vineyards.

petiole nitrate levels. Also the question arises as to what the trend might be with continuous annual fertilization. The consecutive yield effects for eight vineyards representative of the petiole nitrate range are shown in Fig. 3, where they again are given in terms of change from control yield. These data are typical. In vineyards of very low nitrate values, where vine growth and yields are obviously below normal, relatively large first-year yields are not uncommon. Beyond this low range the results become erratic, and some decreases are recorded. Two other observations are of interest : first, that this small group shows the inverse correlation of yield increases and petiole nitrate level in that the amount of yield increases becomes lower progressively from vineyard A to H ; and second, that where increases occur the second year, they do not in subsequent years cause yields to drop as low as control yields.

The open circles in Fig.2 represent varieties other than Thompson Seedless—Tokay, Mission, Carignane, and Zinfandel. These represent only a few vineyards, but they seem to follow the pattern set by Thompson Seedless. This suggest that the levels involved and their relationship might hold, in general, for all varieties. However, though this seems true for the varieties named above, data obtained in the past season have indicated wide differences among different varieties planted side by side on very uniform soil.

Further work must be done to sort the more widely planted varieties into groups of basically low, medium, or high nitrate before such a graph may be successfully set up for the medium and high nitrate types. For the present the graph in Fig. 2 should prove of practical use in determining nitrogen needs for Thompson Seedless grapes in particular, which account for about 40 % of the grape acreage in California. Present and future trials with this variety will concentrate on adding additional points in the lower part of the graph and in refining the limits of deficient, adequate, and excess levels of petiole nitrate.

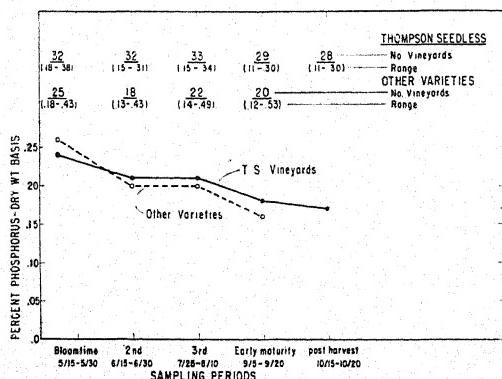


FIG. 4. — Seasonal phosphorus levels in grape leaf blades, California showing the number of vineyards included, the ranges, and the mean values at each sampling period.

PHOSPHORUS

Williams' state-wide field trials (16,17) compared N and N P K as fertilizers in 27 vineyards. In both cases nitrogen was applied at about 75 pounds per acre while 300 to 400 pounds of P_2O_5 and about 400 pounds of K_2O per acre were included in the N P K plots. All materials were drilled into the soil to a depth of

10 inches. These trials varied in duration from 1 to 5 years, with some plots therefore receiving large total amounts of K₂O and P₂O₅, yet yield records failed to show any instances where the complete fertilizer gave significantly better results than did the nitrogen alone.

No leaf symptoms from California vineyards have been identified as phosphorus deficiency. Furthermore, literature references reporting yield increases from phosphate applications are rare, the authors know of none in which leaf analyses are included. Petiole samples from most of Williams' trials, taken from 1 to 3 years after the treatments were stopped, showed levels varying from 0.07 to 0.79 % phosphorus at harvest time (see Table 1). In most cases the differences between check and N P K plot values are too small to be practical significance. Although a few vineyards listed here do show uptake and gave no yield response, the possibilities of positive response have not been fully investigated.

The leaves from which the petioles were used in the nitrate studies of 1951-53, previously discussed, were saved for analyses in a survey study of other nutrient elements. The average seasonal phosphate level for unfertilized plots is shown in Fig. 4. All varieties other than Thompson Seedless were averaged together to be compared with this major California variety. The number of vineyards sampled and the extremes at each date are shown. The points, however, are based on the value obtained by using only half the vineyards, the two quarters that bracket the median, so as to avoid influencing the mean by occasional very high or very low vineyards. The small differences in the two curves and in the ranges are not considered significant. Several of the miscellaneous vineyards are in cool coastal counties and may have been sampled a little earlier than the Thompson Seedless; also, with no irrigation, the growth stops earlier in the fall and active leaves are scarce after harvest.

The ranges of values shown here for leaves are of the same order as those shown by the limited petiole samples from Williams' trials, as discussed above. None show any symptoms that are commonly associated with phosphate deficiencies in other plants. In fact, several of the very highest producing vineyards have leaf phosphate levels in the lower ranges of the fourth collection period and some of the lower yielding vineyards have higher phosphate. This trend is in agreement with that found by Lilleland and Brown (10) in their survey of leaf phosphate in California peach orchards. Whether such a relationship is a concentration effect from lack of growth on one hand or a result of heavy demand by large crops on the other has not been determined either for peaches or grapes. However, by leaf data from paired adjacent prune trees, one of which was completely defruited, Lilleland (7) showed that as the season advances the difference in phosphorus levels becomes increasingly greater. Early-season leaf levels of 0.22 and 0.21 % become 0.25 and 0.13 %, for non-bearing and bearing trees, respectively.

Perhaps the most interesting aspect of the survey data on grape leaf phosphorus is its relationship to corresponding petiole values. When these

TABLE 1

Phosphorus and potassium levels in harvest time petioles
taken from grape vineyard trials
whose yield results were previously reported by Williams (16)

Vineyard No.	Grower-Variety Soil type	Total years ferti- lized	Sept. 1948 Petiole Analyses Per cent dry wt. basis					
			Potassium Treatments			Phosphorus Treatments		
			C	N	NPK	G	N	NPK
1.	Beaulieu - Cab. Sauv. Bale loam	3	.84	.92	1.34	.34	.16	.19
2.	Beaulieu - Semillon Bale loam	4	.46	.25	1.17	.07	.07	.07
3.	Bianca - Mataro Loam - poorly drained	3	.18	.18	.37	.12	.12	.19
4.	Ewing - Thompson Seed- less Fresno sandy loam	4	1.03	.73	1.29	.25	.17	.38
5.	Ficklin - Thompson Seedless Madera sandy loam	4	.60	.55	.84	.32	.28	.79
6.	Fredson - Palomino Loam	3	2.2	—	3.9	.37	.29	—
7.	Guasti - Zinfandel Tujunga sand	2	.78	.84	.76	.07	.07	.07
8.	Kreider - Zinfandel Bale grav. loam	2	1.07	1.12	1.32	.20	.10	.10
9.	Lolonis - Palomino Corning grav. loam	3	2.6	—	3.3	.39	.25	.23
10.	Lynch - Thompson Seed- less Fresno sandy loam	4	.22	.18	.36	.42	.28	.46
11.	E. Mirassou - Zinfandel Loam	5	.34	.27	.62	.19	.17	.19
12.	Mirassou - Petite Sirah Gravelly loam	3	.70	.87	1.06	.14	.07	.10
13.	Moorhead - Zinfandel Loam	2	.49	.33	.55	.08	.08	.10
14.	Schlegel - Thompson Seedless Fresno sandy loam	3	.80	.67	.72	.09	.09	.32
15.	Shattuck - Thomp. Seed. Fresno sandy loam	3	.32	.32	.36	.40	.32	.57
16.	Sink - Zinfandel Aiken	6	.19	.15	.27	.30	.20	.26
17.	Skinner - Tokay Hanford sandy loam	5	.65	.51	.76	.42	.43	.47
18.	Stelling - Petite Sirah Bale grav. loam	2	.25	.21	.40	.11	.08	.08
19.	Woodworth - Tokay Hanford sandy loam	5	1.40	1.02	1.66	.76	.57	.67

paired data were arranged in decreasing order of petiole levels, the following very striking trend was observed : when petiole phosphorus is in the high part of the range, it tends to be higher than that for the corresponding leaf value ; when the petiole level is low, the leaf value tends to show the higher content. Table 2 shows the phosphorus data and petiole/leaf ratios for the Thompson Seedless vineyards at the third collection. The significance of this relationship remains to be determined.

TABLE 2

Phosphorus values for the Thompson Seedless petioles and corresponding leaves
at third collection period, 1952 season.
Listed in the order of decreasing petiole values

Per cent Phosphorus (Dry wt. basis)		Ratio-Petiole : Leaf
Petioles	Leaves	
.55	.29	1.9
.55	.34	1.6
.49	.25	2.0
.46	.32	1.4
.42	.24	1.8
.42	.26	1.6
.41	.24	1.7
.36	.27	1.3
.29	.21	1.4
.29	.20	1.4
.28	.24	1.2
.25	.22	1.1
.24	.22	1.1
.24	.21	1.1
.23	.18	1.3
.22	.22	1.0
.22	.18	1.2
.20	.15	1.3
.19	.19	1.0
.18	.20	.9
.18	.20	.9
.17	.19	.9
.12	.19	.6
.11	.17	.6
.10	.16	.6
.07	.18	.4
.07	.15	.5

POTASSIUM

In reporting the results of potassium trials in California vineyards, Ulrich (12) lists potassium values for leaves and petioles. In the one vineyard that showed significant yield increases, late-summer petioles from no-potash plots in 1940 averaged 0.26 %, and those from potash treated plots were 0.70 %, leaves continued 0.32 and 0.40 %, respectively, and the no-potash leaves frequently showed marginal scorching. Petioles from the second vineyard, which showed no yield response to potash applications, had 1940 potassium levels of 0.48 % for treated and 0.45 % for no-potash plots, with no data for leaves and no mention of symptoms.

Ulrich showed the seasonal curves for potassium content of leaves and of petioles for the response vineyard. Petiole potassium is about twice as high as that for leaves at the beginning of the season in the control plots but drops at a more rapid rate, so that at harvest time the leaves contain a higher level than corresponding petioles. The petioles were a more sensitive indicator of potassium uptake in the vineyard that showed uptake and yield response, and Ulrich concluded that the potassium content

of the petioles was the better guide to the potassium status of grapevines.

As stated before, none of Williams' numerous trials showed significantly better yields from N P K than from N alone; that is, there was no measurable response to either phosphate or potash application, even where continued for several years.

Petiole samples were collected from most of these vineyard trials in September of 1948. The 1948 values for petiole potassium and phosphorus are listed in Table I. In eight of these trials the check plots show K values of less than 0.50 %, and if any were thought to be deficient, these would be under suspicion. Six of these show a relatively good increase in K level from treatment, but only in vineyards No. 2 and No. 11 were both the control and treated levels in the ranges that Ulrich found in this K-response trial. Yet these two vineyards, fertilized with approximately 400 pounds K₂O per acre per year for 4 and 5 years, respectively, failed to show any significant yield increases in the records for these periods. Comparing N P K and N plots, the yields increase at vineyard No. 2 was 7 % higher for the N P K treatments over a 5-year period; at vineyard No. 11, the N P K treatment was 2 % higher over a 6-year period! One might argue that the K levels in the treated plots of 6 of the 8 lowest vineyards were still too low to be adequate — that lack of yield response was due to lack of uptake — but such reasoning will not explain the failure with vineyards 2 and 11.

Except for Ulrich's one vineyard response to potash, there have been no other reported yield responses by grapes in California. Assuming that vineyards with potassium levels on the order of that found by Ulrich (a range of 0.15 to 0.31 % in harvest time petioles) are deficient, there are several factors that may prevent or hide yield response. A basic reason may be lack of uptake. Many of the low vineyards in Table I, although showing a high relative uptake, still did not attain doubt-free levels in several cases, after several years of heavy treatment (see vineyards 3, 10, 15, 16, and 18). Any of several possibilities may be the explanation for this. Certain soils are known to have a high fixing power for potassium. In addition, recent incidental observations by the authors, made after the positive identification of potassium deficiency symptoms, have indicated that visual symptoms and low tissue levels may be expected wherever root activity is seriously reduced — by any of several causes. Vines showing leaf symptoms not unlike potash deficiency are often found in nematode or phylloxera spots when not obvious elsewhere in the particular vineyard.

Harvest-time leaves showing severe symptoms and K levels in a range of 0.10 to 0.20 % have been found in vineyards located on heavy, very dense, clay soils subject to poor drainage. This occurrence is in agreement with Lilleland and Brown (9), who found K deficiency in prune orchards on similarly poorly-drained, heavy soils. In their case Neubauer values indicated a sufficiency of potassium, but leaf showed low uptake.

Conditions such as those discussed above may often restrict potassium deficiency to small areas within a given vineyard. Crop size and foliage potassium levels may vary widely in and near these locations as well as

showing wide annual variations. The data in Table 3 are typical of that for many of Williams' trials. Such extreme variations in potassium content, accompanied by wide yield variability, require many replications to show yield differences between treatments; yet the trouble area may be too small for the required plot size and replications. These difficulties and the semi-survey nature of Williams' trials may help to explain his lack of measurable yield response. Further, more detailed experimentation might reveal yield responses or, on the other hand, might show that yield increases are measurable only where vines initially show visual symptoms.

TABLE 3

Annual variation in petiole potassium levels, and variation among replicate plots.
Beaulieu Semillon vineyard (No. 2 in table 1)

Sampling Date		Petiole K in per cent dry wt.		Relative Crop
Treatments	→	Control	N	
1947 Aug. 26.....	0.70	1.00	1.66	Average
range.....	(.3-1.2)	(.3-2.1)	(.7-2.9)	
1948 Sept. 21.....	0.46	0.25	1.17	Very heavy
range.....	(.2-.7)	(.1-.4)	(.7-2.0)	
1949 Aug. 18.....	0.59	0.41	1.27	Light
range.....	(.3-1.3)	(.2-1.1)	(.9-2.1)	
1950 Aug. 2.....	1.12	0.90	1.79	Very light
range.....	(.5-2.3)	(.3-2.0)	(1.3-3.3)	

Reports of positive response from applications are, with few exceptions, based on vines showing symptoms (1,12). One exception is the yield response obtained in a 5-year trial by Depardon and Buron (4). Their data showed a 14% increase in wine yield over this period from vines receiving at least 100 kg K₂O per hectare during this period. No additional increase was shown in yield data from plots receiving 150 to 200 kg of K₂O per hectare. There was no mention of visual symptoms.

Lilleland and Brown (8) have shown a remarkably high correlation between soil depth and the water-soluble and replaceable potassium in California orchard soils. Of 100 soils studied, 94 had less K in the fourth foot than in the first, and 72 of the 100 had only half as much, or less, in the fourth foot as on the surface. Yet most of these soils are of alluvial origin and do not exhibit noticeable profile changes in texture. Although many of the Central Valley soils were originally almost level or gently undulating, the necessity for irrigation has resulted in extensive land leveling, which often involves the removal of surface soil to the depth of several feet in small localized areas. If anywhere, vines planted in such scraped areas might be expected to show potassium deficiency symptoms related to a truly low soil content. In a spot of this type, about an acre in size, in an otherwise normal appearing Carignane vineyard, the authors have obtained a striking visual and tissue-level response to potassium application.

Attention was first called to this trouble spot, on loamy sand soil in Merced County, by Mr. Verner Carlson, County Farm Advisor, in 1952. The



FIG. 5.—Vine appearance at harvest time, 1955, after 25-pound treatment with potassium sulfate to vine in foreground in 1952.

FIG. 6.—Stages of early season K-deficiency in Carignane variety. Picked shortly after bloomtime; potassium content of these leaves was 0.30%.

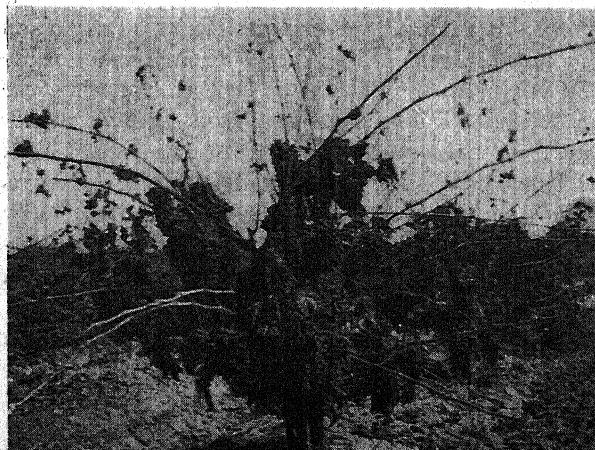
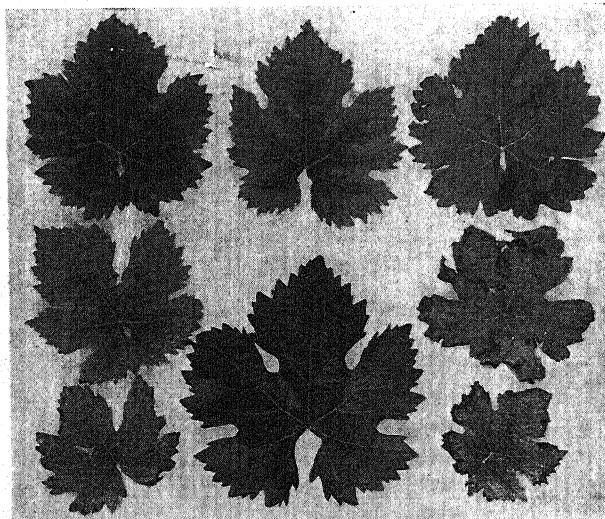


FIG. 7.—Carignane vine showing combined effects of K-deficiency and heavy crop. Photographed at early harvest time.

leaf symptoms were so similar to classical potassium deficiency that treatment was encouraged. To insure the likelihood of uptake, extremely heavy applications of 15 and 25 pounds per vine of potassium sulfate were applied as surface applications in October, 1952, in this vineyard which was planted at 8×10 distances.

In spite of such heavy treatments, no visible response was noticeable until late summer of 1954, at which time striking improvements were apparent with both application rates. Fig. 5 shows treated and untreated vines immediately after harvest in 1955. The visual evidence of response verified the deficiency symptoms and justifies their description.

The leaf symptoms are similar to those described in the literature (1, 5, 6, 11). The symptoms began to appear in early summer on midcane leaves, as a chlorosis, first noticeable and more intense at the leaf perimeter. As the chlorosis continues to develop it moves into the interveinal areas, with a gradual decrease as it approaches the leaf veins. Marginal burning and upward curling of the leaf edges follow the

development of the chlorosis. These symptoms are illustrated in Fig. 6. Occasionally, and particularly on those vines where symptoms begin in late summer, the more common indications are preceded by necrotic spots, or flecks, several mm. in diameter, seemingly appearing at random throughout the leaf surface. Leaf fall is premature, especially with vines carrying a heavy crop, and can be so complete that fruit fails to ripen. In such cases, weak secondary shoot growth may begin on the defoliated canes, Fig. 7.

The Carignane vines in this location showed indications of being in a cyclic behavior with regard to potassium. Vines that made normal growth



FIG. 8. — A Carignane vine which in the preceding harvest season resembled the one shown in fig. 7. Foliage here had symptoms similar to fig. 6 and photo was taken at the same time. Normal vines in background.

and carried a large crop one year as in Fig. 7 would show late-developing symptoms but would suffer severe early leaf fall. The next year these same vines would make very weak growth from water sprouts and basal buds on the spurs (see Fig. 8). There would be practically no fruit, leaves would develop symptoms early, and although leaf fall would occur earlier than normal it would not be so early or so striking as with vines carrying a good crop. After one or two years of stunted growth the vines might again make normal growth, have a good crop, and show late symptoms and early, severe defoliation; thus the cycle is repeated, but with a downward trend in growth and productiveness until some of the vines died. Observations in other scraped spots show that replant vines seem to grow normally until old enough to bear a crop, then begin declining.

The positive response in this Carignane vineyard aroused new interest

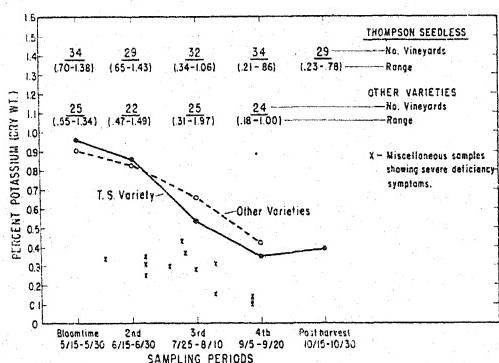


FIG. 9.—Seasonal potassium levels in grape leaf blades, California, showing the number of vineyards included, the ranges, and the mean values at each sampling date. Also the levels associated with deficiency symptoms.

values was found at all periods, but there were no obvious correlations with vineyard yields other than the observation that some of the very highest yielding vineyards might have median values at bloomtime but be in the lower range at the end of the season.

Ulrich's 1941 curves for leaf potassium levels in the K-deficient vineyard very closely parallel the seasonal curve shown here, but at values about 0.10% lower at each sampling date. His control plots showed leaf symptoms at the last two sampling dates. Plotted on Fig. 9, for comparison with the seasonal curve, are values from miscellaneous leaf samples in 1955; some are from the Carignane test vineyard and others are from vineyards showing very similar severe symptoms. It would seem, then, that for leaves the analytical range separating moderate visual symptoms from the mean level of representative California vineyards is far too small to be of practical use in diagnostic work. This is in agreement with Ulrich's conclusion from his trial vineyard, in which the petioles showed much greater differences in K content between fertilized and control plots (12).

in the possibilities of foliar analysis as a guide to potassium deficiency. Again, the leaf blades from the 1951-53 nitrate studies were used to establish a seasonal curve. Fig. 9 shows the average values as well as the range in values at each sampling period. Here, as with the calculation of the average values for leaf phosphorus, only those values in the two quarters bracketing the median were used in determining the average. A wide range of

TABLE 4

Analyses of various foliage tissue samples from Potassium deficient Carignane vineyard,
Merced County, California
(Values by flame photometer procedure)

Date sampled	Description of samples	Per cent dry wt. basis		
		K	Ca	Mg
6/7/55	Petioles - Normal vines	1.82	1.4	.8
6/7/55	Petioles - Symptom vines	0.30	2.4	1.0
6/7/55	Shoot tips* - Normal vines	1.92	0.5	0.4
6/7/55	Shoot tips - Symptom vines	0.46	1.4	0.4
7/14/55	Leaf blades - Treated vines	0.64	1.5	0.6
7/14/55	Leaf blades - Symptom vines	0.30	0.8	0.6
7/14/55	Shoot tips - Treated vines	0.72	1.0	0.5
7/14/55	Shoot tips - Symptom vines	0.33	1.0	0.8
9/1/55	Petioles - Normal vines - good area	0.46	2.9	1.3
9/1/55	Petioles - Treated vines - bad area	0.38	2.9	2.1
9/1/55	Petioles - Symptom vines - bad area	0.12	1.5	2.8
9/1/55	Leaf blades - Normal vines - good area	0.38	2.4	0.6
9/1/55	Leaf blades - Treated vines - bad area	0.30	2.4	1.0
9/1/55	Leaf blades - Symptom vines - bad area	0.22	1.9	1.1
9/1/55	Shoot tips - Normal vines - good area	0.40	2.2	0.7
9/1/55	Shoot tips - Treated vines - bad area	0.42	2.7	0.4
9/1/55	Shoot tips - Symptom vines	0.19	1.5	1.0

* 6-inch tips of representative shoots.

Various foliage tissue samples were collected from the severely K-deficient Carignane vineyard to be compared as means of detecting potassium uptake. These data are presented in Table 4. Here it may be seen that at midsummer (7/14) the relative difference between leaf levels of good and bad leaves could be useful, but at harvest time the leaf differences are much less. On the contrary, both petiole and shoot-tip analyses show much greater total and relative differences at all times between normal and deficient vines. Data are now being collected to see whether or not shoot-tip analyses might be a better possible reference than petiole analyses for detecting hidden potassium needs of grapevines.

In the survey used to establish our seasonal grape leaf potassium curve, we have noticed that some of the heaviest producing Thompson Seedless vineyards have among the lowest harvest-time K levels, yet these vineyards will show median, or higher, values at bloomtime. This is in agreement with Lilleland and Brown (9), who found in their survey of potassium in California peach orchards that several of the orchards with highest leaf potassium had the lightest crops. By defruiting prune trees (7) and peach trees (9), these authors show that with no practical difference in leaf potassium at the beginning of the season, the non-fruited trees will show an ever-increasing, greater leaf level than the fruiting ones as the season progresses ; May 1st

values of 1.12 and 1.18 % become 0.98 and 1.66 % in August for bearing and non-bearing peach trees, respectively.

Various phases of the effect of rainfall or lack of it on symptom expression, yield response, and foliage levels, especially in areas subject to drought conditions, have been reported by several workers, (3, 4, 9, 12, 15). The wider range-limits of leaf potassium shown for varieties other than Thompson Seedless in Fig. 9 may be due in part to water shortages in these vineyards, some of which are grown under non-irrigated conditions.

Our present knowledge from miscellaneous data and references must be considered as only a useful basis for further investigation toward establishing some foliar analytical criterion that may prove to be a guide to potassium nutrition. Variations resulting from crop level and drought conditions can be avoided by taking samples at bloomtime. Shoot tips and petioles offer promise as reference tissues for detecting deficiencies. If such potassium determinations alone do not prove consistent with production tests, the leaf content ratios of potassium to magnesium, as reported by Gärtel (5) for visual symptoms, might be found to apply also for hidden K deficiency, or perhaps the ratio potassium to calcium might prove as is suggested by the data in table 4.

ZINC

On the basis of acreage involved, zinc ranks second to nitrogen in being

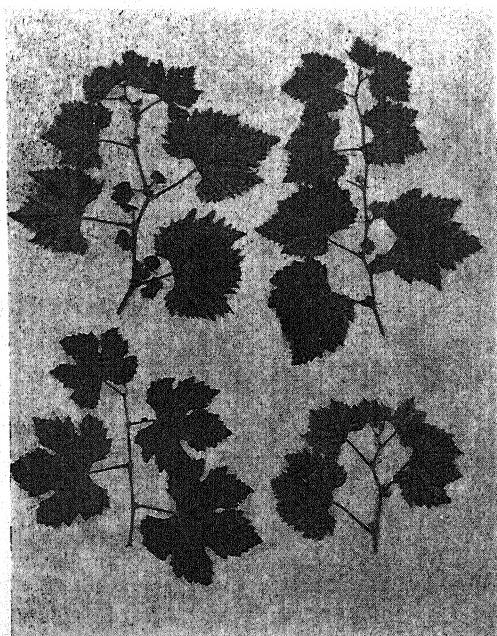


FIG. 10. — Zinc deficiency on Thompson Seedless leaves, showing chlorosis pattern and widened petiole sinus on tip leaves.

deficient in California vineyards. Deficiency symptoms are frequently to be found in vineyards on sandy soils or on vines planted on locations previously used for long periods as stockyards. The symptoms usually appear about the time secondary shoot growth starts, in early summer. The primary and secondary shoot tips are affected first with the symptoms illustrated in Figs. 10 and 11. In Fig. 10 the shoot tip in the lower left corner is normal; the others show typical symptoms. The chlorotic pattern, the location of the affected leaves, their small size, and particularly the widened petiole sinus are the principal symptoms

of zinc deficiency. Because one or more of these symptoms are associated with other deficiencies or diseases, one should be sure that all listed here are present on the vines in question.

With some varieties, particularly Muscat of Alexandria, the first effect of zinc deficiency is the production of very straggly clusters. A range of berry size — from very small, undeveloped ones, to undersized ripe berries with few or no seeds, to normal-size berries with normal seed content — may be found on the straggly cluster. With other varieties, particularly Salvador, the leaves may show moderate or even severe symptoms before poor berry set is observed.

The primary problem with zinc deficiency that has demanded attention has been the one of getting zinc into the plant. Most of the zinc research effort with California fruit crops in general has been directed toward the practical solution of this difficulty.

The very few shoot-tip analyses we have made for zinc content have shown midsummer values ranging from 5 to 20 ppm, associated with varying degrees of visual symptoms. Beattie (2), who listed survey data of mineral levels in the midsummer petioles of 83 Concord (*Vitis labrusca*) vineyards, showed 32 of them with less than 5 ppm of zinc and stated that only one of these vineyards showed visual symptoms.

Since zinc deficiency, identifiable by visual symptoms alone, occurs on enough acreage to be of economic importance, our main concern will continue to be studies to increase the efficiency of uptake by practical means of application. Until this problem is solved, foliage zinc analyses will be of interest to us mainly as a measure of uptake rather than as a means of diagnosing deficiency.

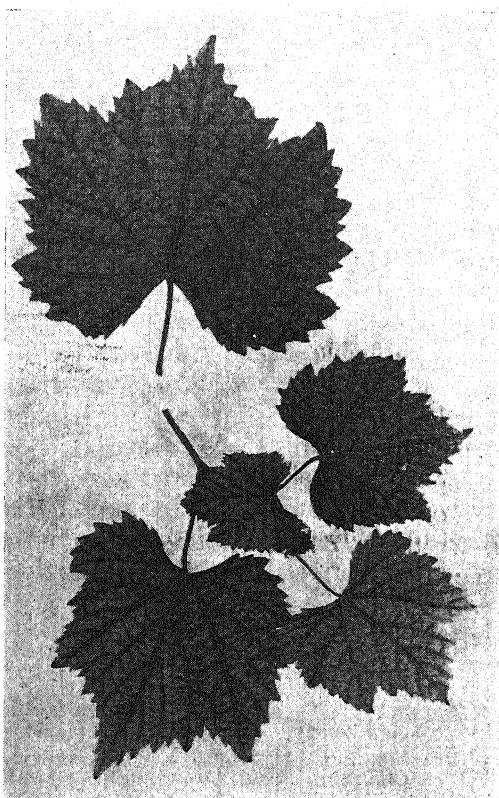


FIG. 11. — Zinc deficiency symptoms on Tokay grape leaves. Normal shoot in lower left corner.

GENERAL SUMMARY

Bloomtime petiole nitrate level has been shown to be of practical use in diagnosing nitrogen needs of Thompson Seedless vineyards. Work is in progress to set standards for other principal varieties.

Potassium deficiency symptoms have been found in localized, acre-size areas within California vineyards where root activity has been reduced for any of several reasons. Where surface soil has been removed in leveling operations, visual symptoms have been corrected by massive (15 pounds per vine in an area of 80 sq. ft.) surface applications of potassium sulfate, but only after a two-year interval.

Although petiole and shoot-tip analyses show wide differences in potassium content between normal vines and those with deficiency symptoms, no yield responses are on record for California vineyards that did not show leaf symptoms in the control plots. The presently accumulated data showing various vineyard relationships with regard to both phosphorus and potassium show a very close parallel to the data from California fruit trees, as reported in several publications by Lilleland and by Lilleland and Brown. The use of tissue analysis as a guide to potassium needs is promising, but is complicated by various factors that must be recognized and evaluated before reference standards can be defined.

Zinc deficiency is second after nitrogen in importance in California vineyards. Symptoms are described and illustrated. A limited number of shoot-tip analyses from midsummer samples show that zinc levels of 5 to 15 ppm are associated with deficiency symptoms.

LITERATURE CITED

1. ASKEW, H. O. A case of combined potassium and boron deficiencies in grapes. *New Zealand Jour. of Sci. and Technology* 26 : 146-152, 1944.
2. BEATTIE, James M. A survey of the nutrient element status of Concord grapes in Ohio. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 64 : 21-28, 1954.
3. BRACONNIER, La fumure de la vigne. *Terre maroc.*, 28 : 485-487, 1954.
4. DEPARDON, and BURON, Au sujet du diagnostic foliaire de la vigne. Cas particulier de la potasse, *C. R. Acad. Agric. Fr.*, 40 : 652-6, 1954.
5. GÄRTEL, W. Untersuchungen über den Kalium-und Magnesiumgehalt von Rebblättern. *Weinberg und Keller* 2 : 389-392, 1955.
6. HAGLER, T. B. and L. E. SCOTT. Nutrient element deficiency symptoms of Muscadine grapes in sand culture. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 53 : 247-252, 1949.
7. LILLELAND, Omund. Experiments in K and P deficiencies with fruit trees in the field. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 29 : 272-276, 1932.
8. LILLELAND, Omund and J. G. BROWN. The potassium nutrition of fruit trees. I. Soil analyses. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 35 : 327-334, 1937.
9. LILLELAND, Omund and J. G. BROWN. The potassium nutrition of fruit trees. III. A survey of the K content of peach leaves from 130 orchards in California. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 38 : 37-48, 1941.
10. LILLELAND, Omund and J. G. BROWN. The phosphate nutrition of fruit trees. IV. The phosphate content of peach leaves from 130 orchards in California and some factors which may influence it. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 41 : 1-10, 1942.

11. PEYER, E. Die Düngung von Reben in kalkreichen Böden. Obst. und Weinbau 64 : 67-70, 1955.
12. ULRICH, Albert. Potassium content of grape leaf petioles and blades contrasted with soil analyses as an indicator of the potassium status of the plant. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 41 : 204-212, 1942.
13. ULRICH, Albert. Nitrate content of grape leaf petioles as an indicator of the nitrogen status of the plant. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 41 : 213-218, 1942.
14. WALTERS, D. V. Manurial trials with irrigated Sultana vines in the Murray Valley, Australia. Emp. Jour. Exp. Agr. 10 : 77-88, 1942.
15. Wallace, T. Leaf scorch on fruit trees. Jour. Pom. and Hort. Sci. 6 : 243-281, 1928.
16. WILLIAMS, W. O. Initial results from grape fertilizer plots. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 42 : 421-424, 1943.
17. WILLIAMS, W. O. California vineyard fertilizer experimentation. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 48 : 269-278, 1946.

DISCUSSION

M. BEAUFILS. — *L'auteur pense-t-il que :*

- 1^o le mode d'épandage,
- 2^o la période d'application,
- 3^o la formule de l'engrais aient une influence sur la rapidité et le rendement de leur assimilation ?

N'y a-t-il pas une période de l'année correspondant à une phase physiologique déterminée de la plante où un apport d'éléments compensateurs au sol doit être évité ?

L'auteur a-t-il une idée de la rapidité d'assimilation des éléments nutritifs lorsqu'ils sont appliqués dans les conditions qu'il considère comme optima ?

M. J. A. COOK. — Unpublished data indicate that there are no differences in grape crop response from different nitrogen sources provided that conditions are such that the nitrogen is in the root zone at about the time growth starts.

Vineyards fertilized with nitrate form in mid-spring have shown high leaf content at sampling time one month later.

M. LIWERANT (Toulouse). — *On sait que la potasse apportée par les engrains migre très lentement en profondeur, et on a pu évaluer, dans un sol à réaction neutre, à 4 ans le temps nécessaire pour que la potasse descende dans le sol de 10 cm. C'est pour cette raison, probablement, que l'effet des engrais potassiques apportés superficiellement est si lent à se manifester.*

R. — This point is recognized. However, in William's trials of N vs. NPK, the potash was placed 8 to 12 inches below the soil surface.

BOULD (Long Ashton Research Station, England). — *Would Dr Cook please give us some more information on the use of zinc foliage sprays for vines. Is the lack of response to zinc sprays specific, or does it apply to other nutrients ?*

R. — This subject has not been well investigated. A generalization from our experiences and from available reports indicate that the grape leaf does not rate very high in efficiency of absorption of sprayed materials.

BEYERS (W. P. Fruit Research Station, Union of South Africa). — *Question concerning graph indicating apparent depression of yield at high N supply.*

In view of yield increment obtained with N only in presence of added K + P in long time experiment at Stellenbosch in South Africa, was the above effect not due to low level of K and P?

R. — The results presented here provide an excellent basis for an investigation of this aspect, namely, that of « balanced » nutrition. Plans are presently in progress for trials which we hope will help to answer this question.

SOUBIES (Onia, Toulouse). — *L'auteur a-t-il essayé les pulvérisations foliaires d'urée ou d'un sel de potasse pour combattre les carences qu'il a signalées et dans ce cas avec quels résultats?*

R. — No field trials of major nutrient sprays have been tried by our Department. A few attempts to correct extreme nitrogen and potash deficiencies in sand and water cultures have failed completely to show any visual response.

ROCHAIX (Berne, Suisse). — *Pour avoir une idée de l'apport d'engrais potassique dans le cadre de ces essais, je voudrais savoir quel nombre de pieds de vigne à l'ha. il y a dans les vignobles californiens.*

R. — In the majority of California vineyards, vine spacing varies from 8 feet by 8 feet giving approximately 600 vines per acre to 8 x 12 with about 400 vines per acre.

Méthode d'utilisation du diagnostic foliaire

par

P. PREVOT et M. OLLAGNIER

Institut de Recherches pour les Huiles et Oléagineux, Paris.

I. — BASES PHYSIOLOGIQUES DU DIAGNOSTIC FOLIAIRE

Les rapports présentés à ce Colloque ont montré combien est délicate l'interprétation des résultats obtenus par le diagnostic foliaire.

Ceci ne surprendra personne puisque non seulement les facteurs internes de la plante agissent les uns sur les autres, mais sont aussi en réactions réciproques avec l'ensemble des facteurs externes.

Le diagnostic foliaire essaie, dans un but d'application pratique, d'inclure dans une équation rendement et teneur en éléments minéraux :

$$R = f (\% \text{ éléments minéraux}) \quad (1)$$

Mais les deux termes dépendent de tant de facteurs intermédiaires que l'on pourrait douter de la possibilité de trouver une relation valable.

Le rendement d'un végétal est en effet contrôlé par l'action réciproque de facteurs internes et externes et la nutrition minérale de la plante n'est qu'un des multiples facteurs du rendement. Son importance par rapport aux autres facteurs dépendra des circonstances de temps et de lieu, comme l'ont montré par exemple les recherches de Cléments (1952) sur la canne à sucre, recherches qui mettent en évidence l'importance primordiale de l'insolation.

Cependant, d'une manière générale, le rendement est une fonction de la croissance :

$$R = f (c) \quad (2)$$

Cette deuxième fonction sera de nature plus ou moins complexe selon le végétal. Pour le palmier à huile, la relation (2) est assez simple (chaque feuille porte une inflorescence ; il n'y a pas de ramification du stipe) ; elle est complexe chez l'arachide (Prevot 1949) où toutes les ramifications portent des fleurs, la formation de gynophores et la production de gousses « utiles » étant localisées presque uniquement sur les nœuds de la base. Dans ce cas, il n'est pas surprenant de constater parfois une relation curvilinéaire entre croissance et rendement, aboutissant à ce que l'on appelle une « consommation de luxe ». La relation peut même parfois être négative.

L'étude de la croissance et du développement de la plante est donc nécessaire pour interpréter correctement les expériences agronomiques et les résultats

tats du diagnostic foliaire. Les recherches de Rothamsted (Watson 1952), de Liège (Bouillenne 1940), les études biométriques sur le tabac de Schwartz (1949) sont des exemples d'interprétation physiologique d'expériences agronomiques.

L'analyse des résultats du diagnostic foliaire doit aussi s'appuyer sur les études théoriques et notamment sur l'analyse des rapports entre concentration de la solution, accumulation des ions et croissance. A cet égard, la culture des tissus fournit une technique efficace (Heller 1953).

La relation entre la concentration de la solution en un élément donné et la quantité absorbée et la relation entre concentration et croissance sont schématiquement de même type et aboutissent à une relation générale entre croissance et quantité absorbée (Fig. 1 d'après Steenbjerg 1954).

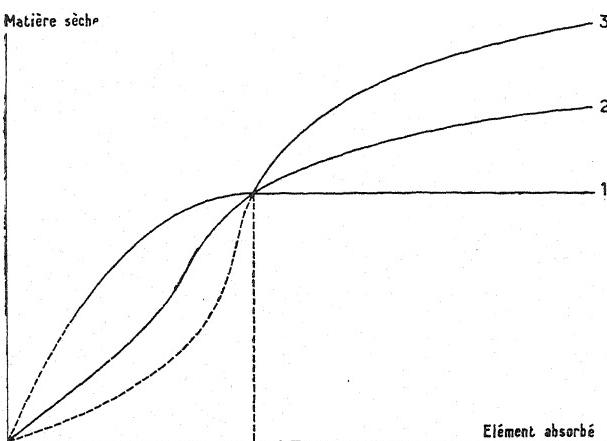


FIG. 1.— Relations générales entre croissance et quantité d'éléments absorbés (d'après Steenbjerg).

sont schématiquement de même type et aboutissent à une relation générale entre croissance et quantité absorbée (Fig. 1 d'après Steenbjerg 1954).

Mais la relation qui nous intéresse plus spécialement, pourcentage d'un élément dans les tissus-croissance, est plus complexe.

En effet, dans le cas de *cellules*

en voie de croissance, l'augmentation de la concentration de la solution en un élément déficient provoque, dans certaines limites, simultanément une augmentation de la quantité absorbée et de la croissance. L'effet sur le pourcentage en cet élément pourra être négatif, nul ou positif selon la valeur respective de l'augmentation de la vitesse de croissance et de la vitesse de l'absorption.

C'est pourquoi le diagnostic foliaire utilise des feuilles ayant terminé leur croissance et, comme l'absorption des ions est en rapport avec l'activité métabolique, des feuilles de même âge physiologique.

Cette simplification nécessaire ne résout pas cependant la difficulté. La feuille accumule les ions ; ceux-ci peuvent être exportés de la feuille vers les zones en voie de croissance rapide. C'est ainsi que les études de diagnostic foliaire montrent un appauvrissement en N, P et K avec l'âge de la feuille et un enrichissement en Ca, élément peu mobile.

Il en résulte que la relation générale pourcentage en élément-croissance est complexe. La relation générale pourcentage entre élément et rendement schématisée dans la fig. 2 l'est aussi.

Dans la partie « a » de la courbe, la déficience est accentuée et l'augmentation de croissance ou de rendement provoquée par l'adjonction de l'élément déficient est tellement importante que les pourcentages dans la feuille sont diminués ou n'évoluent pas (partie « b »). Dans la région de Louga (Sénégal), par exemple, on constate souvent une diminution (ou une stabilisation) des teneurs en azote de la feuille d'arachide, parallèlement à une augmentation de rendement, provoquée par l'application de sulfate d'ammoniaque.

Ce sont plutôt les parties « c » et « d » de la courbe que l'on rencontre dans les cas de carences phosphorées au Sénégal.

Les cas de toxicité manganique mis en évidence dans la vallée du Niaré (Moyen-Congo) se situent dans la partie « e » de la courbe (Ollagnier et Prevot 1955).

Notre expérimentation sur arachide permet donc de donner des exemples précis pour les diverses portions de la courbe théorique que nous avons tracée. Cette courbe montre que l'interprétation des résultats pourra varier et être plus ou moins délicate selon les situations.

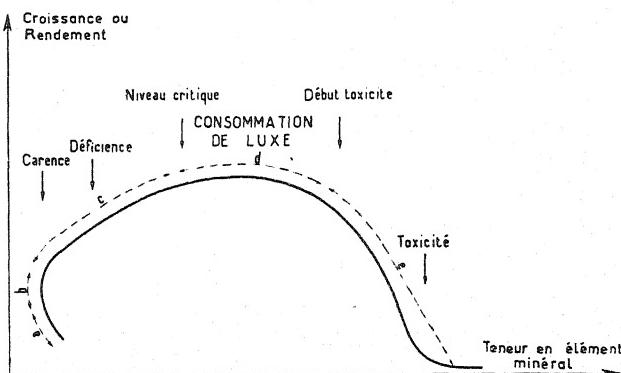


FIG. 2. — Relations générales entre croissance ou rendement et teneur en éléments minéraux.

II. — MÉTHODES INTERPRÉTATIVES

Quelle méthode d'interprétation convient-il donc d'adopter ?

D'une manière générale, certains chercheurs mettent l'accent sur les pourcentages des éléments dans la feuille, d'autres sur les rapports de ces éléments entre eux ou sur la définition de la composition minérale optimale.

Nous estimons que, dans l'état actuel de nos connaissances physiologiques, cette méthode d'interprétation ne doit pas être unique mais être adaptée aux divers problèmes rencontrés.

Nous tenterons de le montrer par les résultats des recherches poursuivies à l'Institut de Recherches pour les Huiles et Oléagineux.

Dans l'étude du problème des fumures minérales, on se contente encore souvent de comparer plus ou moins empiriquement l'action de diverses formules d'engrais. Nous estimons que ceci est insuffisant.

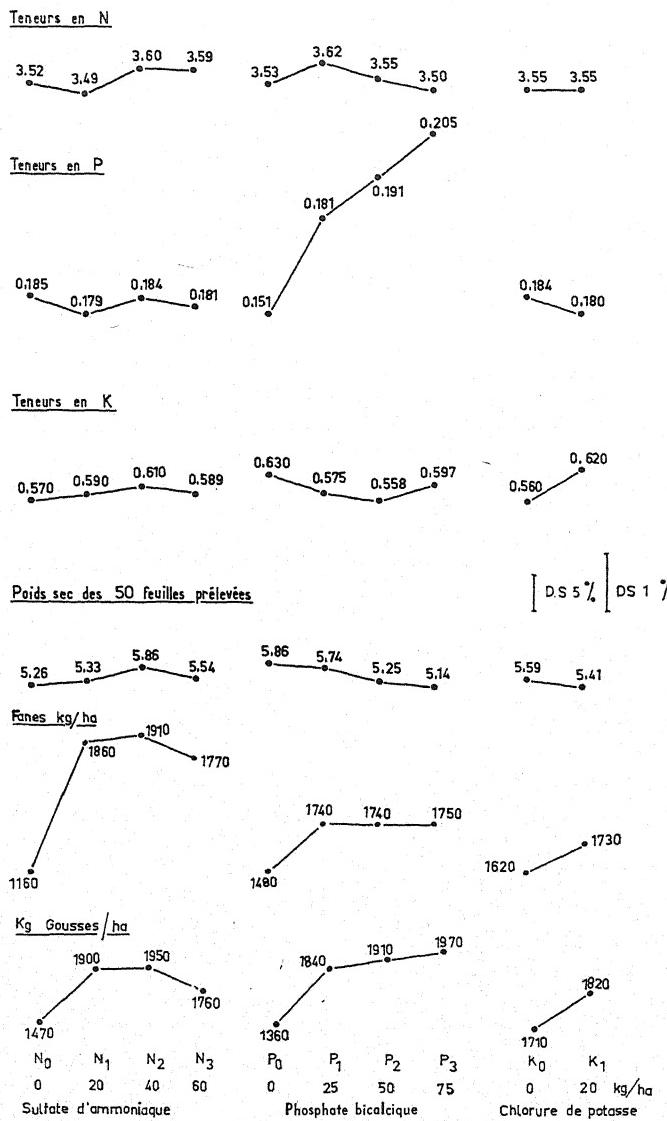
I^o MÉTHODOLOGIE DES RECHERCHES

FIG. 3. — Expérience de la région de Darou (Sénégal 1955).
Essai factoriel de type $4 \times 4 \times 2$ en 32 parcelles.

Un coup d'œil au graphique montre :

1^o un effet significatif et important du phosphate bicalcique sur les rendements et sur les teneurs ;

2^o un effet significatif du sulfate d'ammoniaque sur les rendements, surtout en faines, mais non sur les teneurs.

L'accroissement très considérable des faines a probablement provoqué un effet de dilution sur les teneurs en N ;

3^o un léger effet, juste significatif, du KCl sur les rendements et les teneurs en K.

Nous dirons, schématiquement, que le problème de la fumure minérale doit résoudre les contradictions qui existent entre la plante et son milieu. Dans le cas d'une déficience, la plante a besoin d'un certain élément que le milieu ne peut pas lui fournir et le rôle de l'homme est de résoudre cette contradiction en apportant l'élément approprié. Nous pensons donc qu'au point de vue méthodologique, il est essentiel de saisir d'abord l'aspect principal de la contradiction entre la plante et son milieu (*).

Cet aspect principal de la contradiction que l'on peut assimiler à la loi des facteurs limitants de Blackman, peut être étudié d'une manière particulièrement efficace par l'utilisation d'expériences de type factoriel.

Pour l'arachide par exemple, les effets principaux et les interactions de premier ordre des éléments sont étudiés simultanément sur divers facteurs (rendement en gousses, en fourrage, au décorticage, teneurs en éléments minéraux).

Les résultats de ces expériences de type factoriel sont analysés mécanographiquement sur fiches perforées (Ollagnier et Gros 1955) et condensés graphiquement de telle sorte qu'un simple coup d'œil permet de voir les facteurs principaux limitatifs du rendement (voir fig. 3).

Depuis 1951, 194 expériences de fumure minérale ont été réalisées au Sénégal. D'une manière générale, l'application de faibles doses de fumure minérale allant de 100 à 120 kg. à l'ha procure un important bénéfice au cultivateur africain. L'étude de la nutrition minérale par le diagnostic foliaire et de son influence sur les rendements a permis de tracer après 4 ans de recherches une carte générale des fumures minérales pour la majeure partie du Sénégal.

A la suite de ces recherches, on a pu formuler des propositions de fumures différenciées suivant les principales régions.

2^e NIVEAUX CRITIQUES

La première base que nous avons utilisée pour la détermination des déficiences et la recommandation de fumures minérales est la notion de niveau critique dont nous rappelons la définition arbitraire : « Pourcentage d'un élément dans une feuille au-dessous duquel l'application de cet élément sous forme de fumure minérale a de fortes chances d'augmenter les rendements ».

Nous n'entrerons pas dans le détail de la détermination de ces niveaux critiques pour l'arachide et le palmier à huile. Ce point a déjà été exposé dans diverses publications (Prevot et Ollagnier 1954-1950 à 1953).

Pour la détermination de ces niveaux critiques, il convient de disposer d'un nombre considérable d'expériences de fumure minérale où l'on peut

(*) Nous nous limitons dans ce cas au problème des fumures minérales. Il est bien évident que la contradiction principale entre la plante et son milieu peut être d'une autre nature que sa nutrition minérale, par ex. : son régime hydrique, l'ensoleillement.

suivre simultanément la réponse à l'engrais sur les rendements et sur les teneurs en éléments minéraux. C'est ainsi que sur le cocotier, la comparaison de diverses expériences de fumure minérale et de l'action de la potasse sur les teneurs et sur les rendements (voir Fig. 4) permet de fixer provisoirement ce niveau critique à 0,45 %. Les mêmes comparaisons ont été réalisées pour d'autres éléments sur le cocotier et sur le palmier à huile et, à l'heure actuelle, on peut proposer en première approximation les niveaux critiques suivants (tableau I).

TABLEAU I
Niveaux critiques pour le palmier à huile et le cocotier

	Palmier	Cocotier
Nc .	2,50 %	1,70 %
Pc .	0,15 %	0,10 %
Kc .	1,0 %	0,45 %
Cac.	0,60 %	0,50 %
Mgc .	0,24 %	0,35 %

Valeurs pour un prélèvement réalisé en fin de saison sèche et pour la première feuille complètement développée et montrant une inflorescence à peine visible.

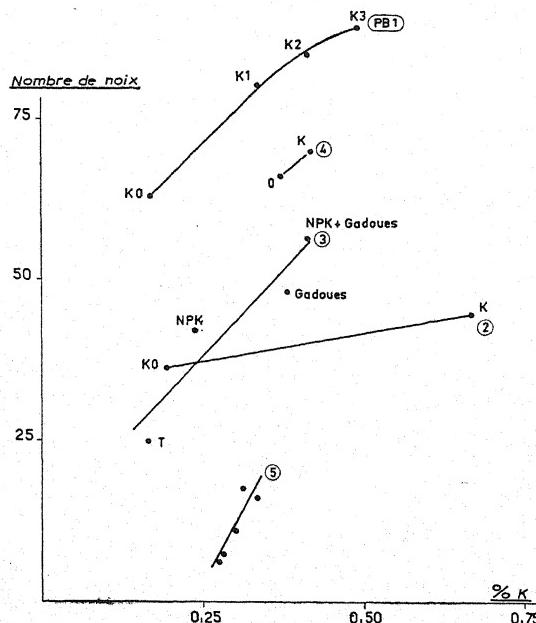


FIG. 4. — Comparaison de diverses expériences pour la détermination du niveau critique de la potasse sur cocotier.

3° INTERACTIONS

La deuxième base de notre interprétation est l'étude des actions réciproques des éléments à la fois sur les pourcentages et sur les rendements.

a) Relation N — P.

En voici un premier exemple sur l'arachide. Lors de nos premières études en 1951, nous avions évalué le niveau critique du phosphore à 0,2 %. Cependant, les expériences ultérieures, beaucoup plus nombreuses et portant sur des régions différentes, montrèrent rapidement que ce niveau critique ne permettait pas

l'interprétation de nombreux résultats. D'un autre côté, l'analyse des corrélations des éléments entre eux nous avait montré l'existence générale d'une très forte corrélation positive entre N et P. Nous sommes ainsi arrivés à déterminer une courbe d'évolution des % optima en P en fonction des % en N (fig. 5). Cette courbe donne les résultats des expé-

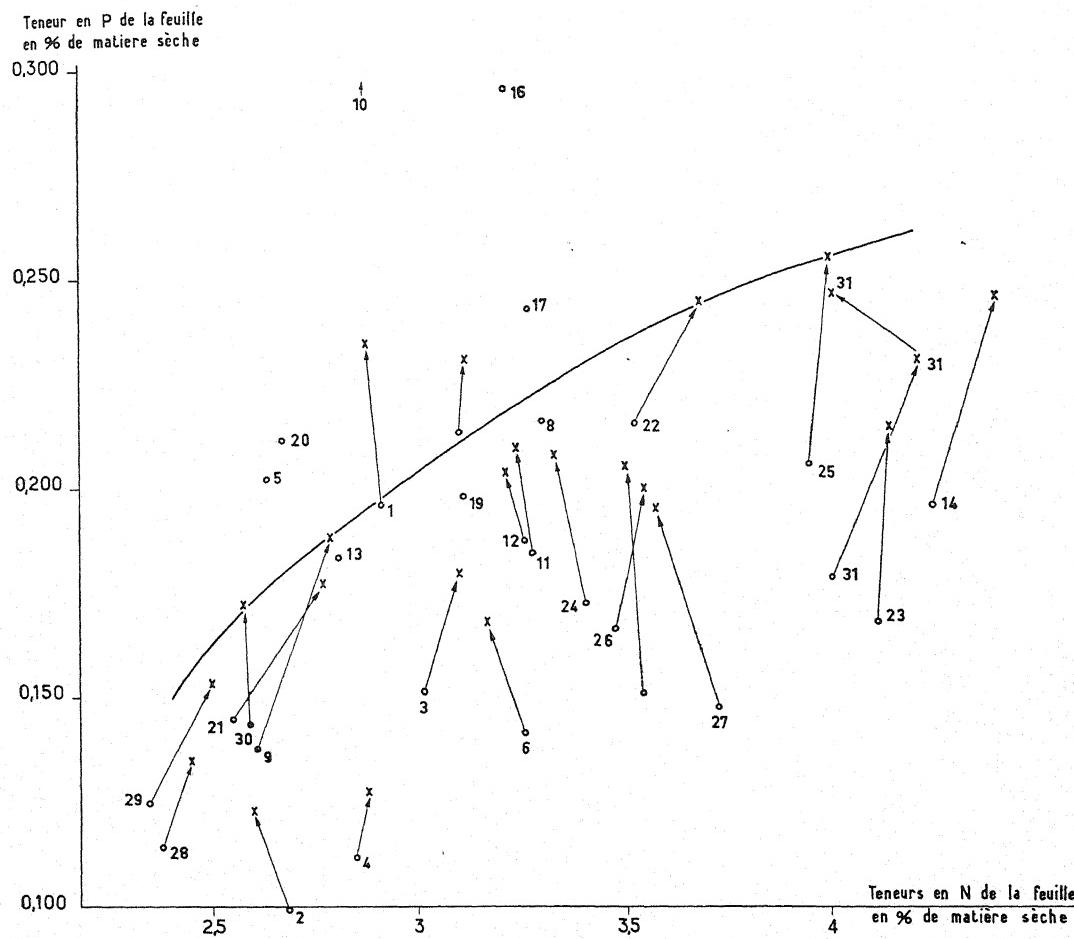


FIG. 5. — Courbe de la nutrition phosphorée optimale en fonction des teneurs en N (arachide). Les flèches indiquent l'évolution des teneurs sous l'effet de la fumure phosphorée.

riences de 1955 et montre l'évolution des % sous l'action des fumures phosphorées. Elle indique que, par ex., un % en P de 0,2 % pourra être déficitaire si le % en N dans la feuille est supérieur à 2,90 %, suffisant s'il est de 2,90 % et excédentaire s'il est de 2,60 %.

L'utilisation de cette relation % optimum en P — % en N permet

maintenant l'interprétation de presque tous les résultats expérimentaux. Ce point est développé dans une communication ultérieure (Ollagnier et Prevot).

b) *Produit N × Poids sec.*

L'étude des % optima de N sur l'arachide a été assez délicate. Dans de très nombreuses expériences, l'augmentation de rendement due à la fumure azotée (en général du sulfate d'ammoniaque) ne s'accompagnait pas d'une augmentation des %. Souvent même, ces % étaient diminués. Nous observions aussi des situations où le sulfate d'ammoniaque augmentait la masse de matière verte sans accroître le rendement. Il était probable que ces expériences se plaçaient dans les parties « a » et « b » de notre courbe théorique. De plus, il est bien connu que les fumures azotées ont souvent une action importante sur la croissance végétative et il était nécessaire d'intégrer ce facteur dans notre interprétation.

Dans ce but, le poids sec des échantillons de feuille a été déterminé, ce qui permettait de calculer le contenu en N des échantillons de feuilles : % en N × poids sec de l'échantillon.

La fig. 6 montre la relation générale entre contenu des feuilles en N et rendements. Les nombres d'échantillons ayant servi à l'établissement des valeurs moyennes sont indiqués près de chaque point.

Partant de cette relation générale, on a tracé une courbe des % en fonction des contenus en N délimitant une zone de nutrition azotée excédentaire et une zone de nutrition azotée déficiente. Il est possible maintenant d'affirmer, avec peu de chance d'erreur, que si, par ex., le % de N est de 3,30 %, la nutrition azotée sera déficiente si l'indice total en N de la feuille est de 8 gr., excédentaire s'il est de 14 gr. et de nouveau déficiente s'il est de 20 gr. (Indice total = poids sec en grammes de 50 feuilles × teneur en N en % du poids sec). (Voir fig. 7).

c) *Somme K + Ca + Mg.*

Une autre méthode a été utilisée sur le palmier à huile pour la détermination des niveaux critiques de K, Ca et Mg. On en trouvera un exposé plus détaillé dans le Rapport Annuel de l'I. R. H. O. 1952 ainsi que dans la communication faite au Colloque précédent.

Ici, nous avons profité du fait que chez le palmier à huile, la somme K + Ca + Mg est relativement constante et égale environ à 2 %. (Dans les conditions de notre échantillonnage bien entendu). Ceci permet une représentation tri-linéaire. Sur la figure 8, on voit que tous les points de nos analyses portant sur des régions aussi variées que la Côte d'Ivoire, le Dahomey, le Moyen Congo, Sumatra, la Malaisie, ne se répartissent pas au hasard, mais sont localisés dans une figure en forme de banane. Bien plus, les points obtenus ultérieurement par Broeshart (1955) au Congo Belge rentrent bien dans cette figure. On voit aussi que les « traitements favorables » (fumures minérales ou état sanitaire) font converger les points vers une zone optimale.

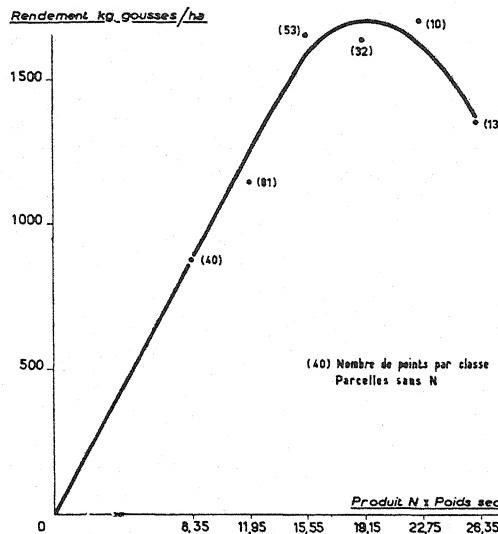


FIG. 6. — Relation entre rendements et « indice total en N » (produit % N × Poids sec).

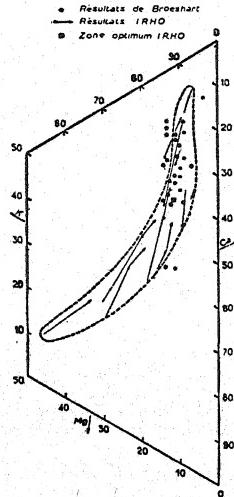
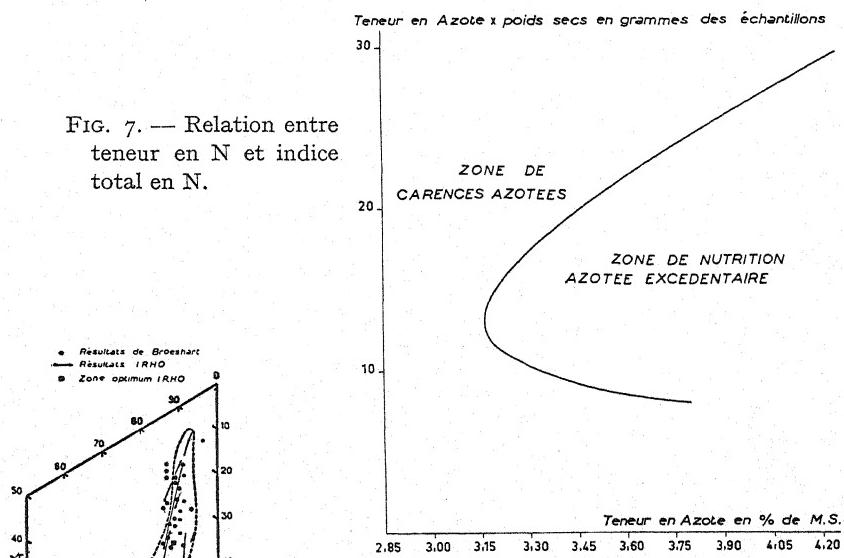


FIG. 8. — Représentation trilinéaire des rapports K — Ca — Mg pour le palmier. Les points (.) correspondent aux résultats de Broeshart (1955). Les flèches indiquent l'évolution des rapports sous l'effet des traitements favorables.

male. Ceci a permis d'évaluer les niveaux critiques de K, Ca et Mg et aussi de définir les relations générales entre K, Ca et Mg comme on le voit dans la figure 9. Dans cette figure, c'est l'antagonisme K — Mg qui est prépondérant aux faibles % en K alors que c'est l'antagonisme K — Ca qui domine aux forts % en K.

d) *Relations K — Mg — Na*

L'étude des relations entre K, Mg et Na s'est révélée intéressante sur le cocotier.

Dans cette analyse, nous avons séparé les parcelles qui n'ont pas reçu de KCl — nous les appellerons K faibles — et celles qui en ont reçu — nous les appellerons K forts, puisque dans ce cas les % en potasse des feuilles sont en général élevés. L'étude porte

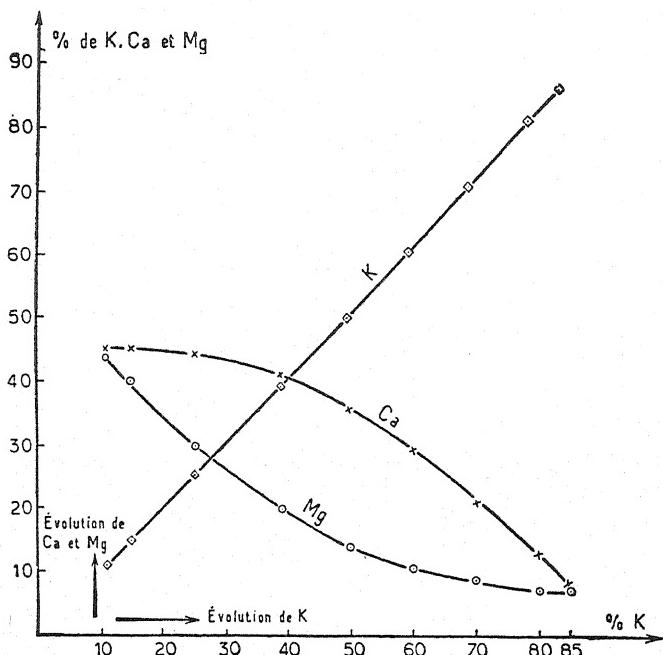


FIG. 9. — Evolution de la qualité de la nutrition Ca et Mg, en rapport avec celle de K.

sur 6 expériences : 4 réalisées au Dahomey, une en Côte d'Ivoire et une au Togo.

Dans la figure 10, on voit qu'il n'y a pas de relation nette entre % en K et Mg lorsque les parcelles expérimentales n'ont pas reçu de potasse. Les valeurs en K sont approximativement les mêmes pour les forts et faibles % en Mg. Lorsque la teneur en K est augmentée par la fumure, apparaît un antagonisme très net entre K et Mg.

La relation entre Na et Mg est de nature plus complexe (fig. 11). Pour les K faibles ; l'antagonisme Na-Mg ne se manifeste qu'aux faibles valeurs de Mg. (de 0,160 à 0,400 % environ). Parmi les K forts au contraire, l'antagonisme Na — Mg n'apparaît qu'aux fortes valeurs en Mg (entre 0,450 et 0,650 % environ). Ceci résulte de l'antagonisme K — Mg (fig. 10) et des relations entre K et Na que nous allons voir (fig. 12).

Ici, pour les K faibles, il n'y a pas de relation entre K et Na. Pour les K forts au contraire, existe d'abord un synergisme K — Na les % en K et Na augmentant simultanément. Nous avons porté sur un même diagramme les résultats obtenus sur des prélèvements réalisés au Mozambique Portugais

par l'I. R. H. O. On voit qu'à partir de 0,50 % de K, apparaît un antagonisme K — Na. La relation générale mise en évidence dans la fig. 12 explique les résultats parfois contradictoires obtenus dans l'étude des relations entre K et Na, certains auteurs observant un antagonisme et d'autres un synergisme K — Na.

e) Cas spéciaux.

Il est compréhensible que, sur 194 expériences de fumures minérales réalisées sur l'arachide, tous les résultats ne rentrent pas sans exception dans les relations générales que nous avons établies pour P ou pour N. Quelques expériences constituent des cas spéciaux dont l'étude est souvent instructive.

L'examen détaillé du mode d'action du sulfate d'ammoniaque révèle parfois une influence de cet engrais sur les % en K, dans des zones à déficience potassique. Dans ce cas, l'effet favorable du sulfate d'ammoniaque ne peut pas être attribué à une carence azotée. Il est possible que l'action du sulfate d'ammoniaque soit indirecte : libération de K du sol par l'ion NH_4 . Ici

aussi donc, le diagnostic foliaire permet une interprétation normale des exceptions parfois rencontrées.

Un exemple de même nature est donné par l'action indirecte d'une fumure phosphorée sur la libération du Mn du sol et la correction d'une carence manganique (Fruhstorper 1952).

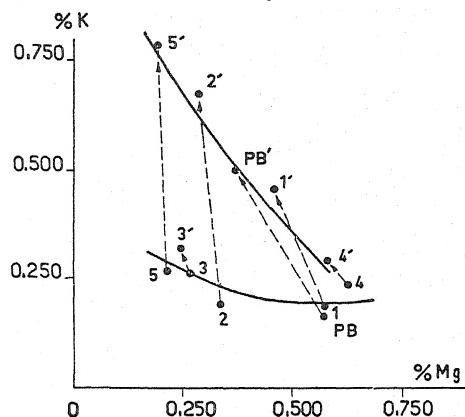


FIG. 10. — Relation entre K et Mg (cocoier).

Parcelles 1.....5 sans K.

Parcelles 1'.....5' avec K.

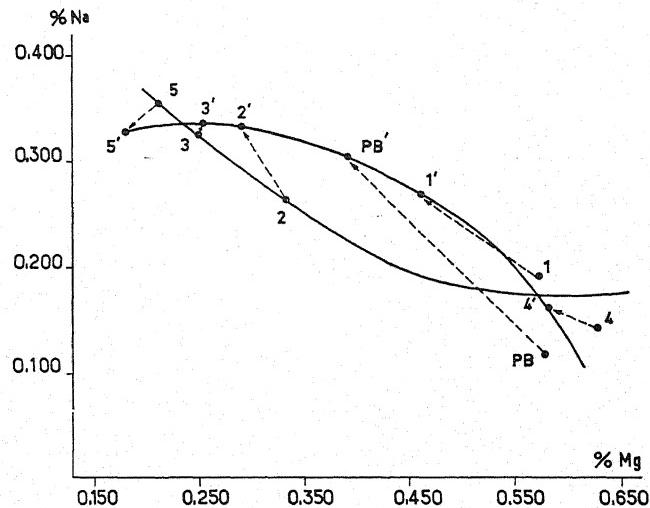


FIG. 11. — Relation entre Na — Mg (cocoier).

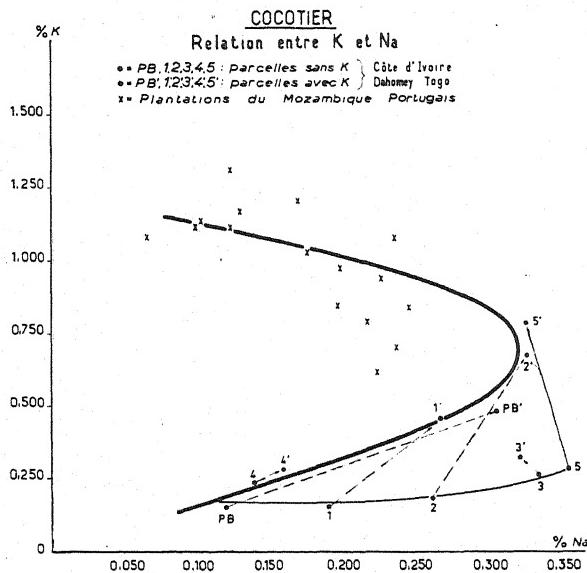


FIG. 12. — Relation entre K — Na (cocoier).

rendement de 1.000 kg de gousses d'arachide par application de 50 kg. de sulfate d'ammoniaque. La quantité d'azote exportée par le supplément de récolte était de loin supérieure à la quantité d'azote apportée par l'engrais. Une expérimentation ultérieure a démontré que le sulfate d'ammoniaque avait en réalité corrigé une carence en soufre, tout comme, chez Greenwood, le superphosphate avait agi principalement par son soufre (voir fig. 13).

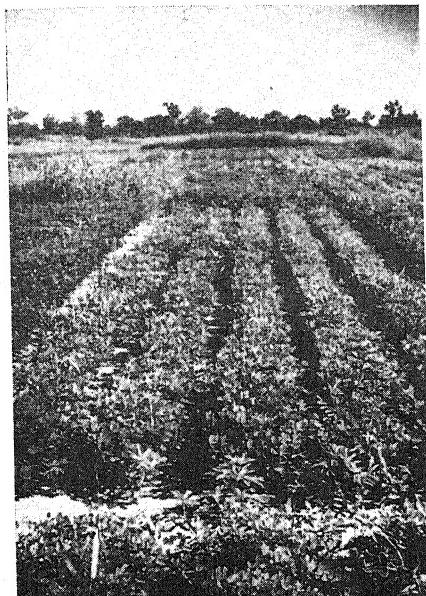
III. — RÉSUMÉ

Nous avons essayé de montrer dans cet exposé, en nous basant sur les études réalisées à l'I. R. H. O., la nécessité de l'emploi de diverses méthodes interprétatives pour l'analyse des résultats du diagnostic foliaire : notion des niveaux critiques, évolution de ces niveaux selon les % en un autre élément (courbe N P), intégration d'un facteur de croissance (courbes % N × Poids sec et rendement), interrelations des éléments entre eux (analyse des rapports K, Ca, Mg pour le palmier et K, Na, Mg pour le cocoier), étude de cas spéciaux.

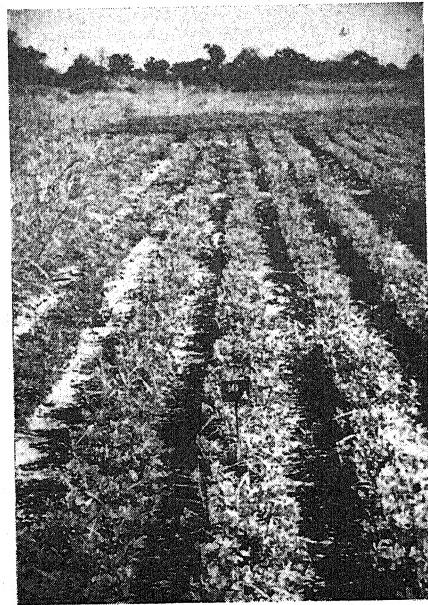
D'autres communications à ce Colloque ont déjà souligné cette tendance moderne des recherches sur le diagnostic foliaire et il est bien probable que les études de physiologie végétale sur l'absorption et la translocation des éléments, leur rôle dans le métabolisme végétal, permettront dans l'avenir une interprétation encore plus complète des résultats.

A notre avis, le diagnostic foliaire constitue une méthode très efficace dans l'étude des fumures minérales, *à la condition de ne pas être utilisé d'une*

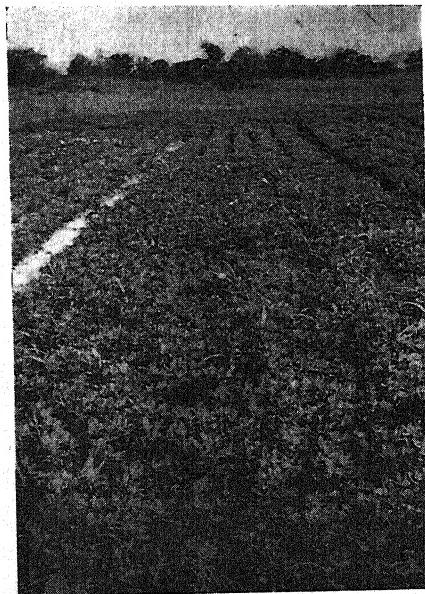
Dans les cas où le sulfate d'ammoniaque augmente les rendements sans agir sur les teneurs en N, nous avons vu que l'interprétation pouvait être trouvée dans un « effet de dilution » dû à une augmentation de croissance. Mais ce résultat peut indiquer aussi la présence d'une carence en soufre. C'est ainsi que sur certains types de sols de la région de Darou au Sénégal, nous avions obtenu une augmentation de



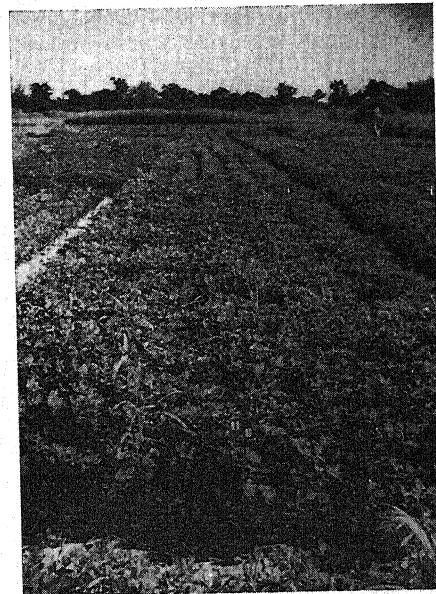
T



A



C



B

FIG. 13. — T : (P + K); R = 2 120 kg
A : (P + K) + U; R = 2 130 kg
B : (P + K) + U + S; R = 3 060 kg
C : (P + K) + S. A.; R = 3 030 kg

(P + K) = 60 kg de phosphate bicalcique et 20 kg de KCl
épandus sur la totalité de l'essai.

U = urée — 17,8 kg par ha.

S = sulfate de soude — 95 kg par ha.

S. A. = sulfate d'ammoniaque — 40 kg par ha.

R = rendement en kg goussees par ha.

manière mécanique, mais de tenir compte dans la mesure de nos connaissances, des relations complexes entre la plante et son milieu. Les anomalies ou les échecs parfois constatés proviennent souvent d'une non-adaptation des méthodes interprétatives aux problèmes étudiés.

Pour terminer, il convient de rappeler l'importante remarque de Wallace : le diagnostic foliaire constitue une méthode parmi d'autres méthodes et il est toujours souhaitable de contrôler les résultats obtenus par l'utilisation simultanée de diverses techniques. Dans ce domaine aussi, le choix de la méthode sera souvent déterminée par le problème étudié.

BIBLIOGRAPHIE

1. BOUILLENNE, R., KRONACHER, P. et DE ROUBAIX, J. 1940. Note préliminaire sur les étapes du cycle végétatif de la betterave sucrière. Bull. Cl. Sc. Acad. Roy. Belg. 26 : 240-261.
2. BROESHART, H. 1955. The application of Foliar Analysis in Oil Palm cultivation. Thèse Univ. Wageningen, 114 p.
3. CLÉMENTS, H. F., SHIGCURA G. et AKAMINE, E. K. 1952. Factors affecting the growth of the Sugar cane. Univ. Hawaï Ag. Expt. Stat. Technical Bull., n° 18 : 1-90.
4. FRURSTORFER, A. 1952. Superphosphate as a manganese carrier Bull. Doc. Assoc. Int. Fabricants Super. 20 : 100-102.
5. HELLER, R. 1953. Recherches sur la nutrition minérale des tissus végétaux cultivés *in vitro*. Thèse Fac. Sc. Univ. Paris, 223 p.).
6. OLLAGNIER, M. et GROS, D. 1955. Utilisation des fiches perforées à 80 colonnes pour l'interprétation des résultats des expériences agronomiques factorielles (Revue de Statistique appliquée, III : 55-64).
7. OLLAGNIER, M. et PRÉVOT, P. 1955. Liaison entre dégradation du sol et toxicité manganique. Oléagineux, 10 : 663-666.
8. PRÉVOT, P. 1949. Croissance, développement et nutrition minérale de l'arachide Oléagineux coloniaux. Institut de Recherches pour les Huiles et Oléagineux. Paris : 1-108.
9. PRÉVOT, P. et OLLAGNIER, M. 1954. Peanut and oil palm foliar diagnosis Interrelations of N, P, K, Ca, Mg. Plant Physiology 29 : 26-34.
10. PRÉVOT, P. et OLLAGNIER, M. Diverses publications dans Oléagineux, 1950 (557-562), 1951 (185-194), 1951 (329-337), 1953 (67-71), 1953 (843-851).
11. SCHWARTZ, D. et CUZIN, J. 1949. Croissance comparée de deux parcelles en culture : application à l'étude des engrains. C. R. Acad. Sc. Paris, 228 (23) : 1820-1822.
12. STEENBJERG, F. 1954. Manuring and Plant Production Anal. Plantes et Prob. Eng. Min. I. R. H. O. Paris : 31-34.
13. WATSON, D. J. 1952. The physiological basis of Yield variation. Advances in Agronomy, vol. IV : 101-145.

DISCUSSION

BROESHART (Congo-Belge). — *The data presented by Mr. Prevot suggest that it is impossible to fix a « critical level » for a particular element in the leaf for the following reasons :*

- 1) *Due to the shape of the curve, giving yield as a function of the leaf content, for instance P, a medium to normal P value may indicate either extreme P deficiency or normal condition.*
- 2) *It may be possible that for certain conditions when data of field experi-*

ments are available, the N content of the leaf may be used to correct the critical P content. However, in the case that no fertiliser experiments are available, one does not know if this finding may be applied in practice.

It may well be that critical P level in other cases is related to the K, Ca or Mg content of the leaf.

PREVOT. — Nous avons justement indiqué dans notre communication que la notion de « niveau critique » très utile comme première approximation, ne se suffit pas à elle-même. Dans le cas de P dans l'arachide, il n'y a pas un niveau critique, mais une série de valeurs optimales en liaison avec les teneurs en N. Il est bien certain que ces notions devront être modifiées au fur et à mesure que de nouvelles études préciseront les actions réciproques des éléments minéraux entre eux et aussi leurs réactions vis-à-vis d'autres facteurs de la physiologie de la plante : l'eau, la nutrition carbohydratée, les auxines etc... Mais en agronomie, on est bien obligé de tenter une interprétation préalable des résultats, sans attendre la découverte de tous les facteurs du problème.

BOULD (L. A. R. S. Bristol, England). — *Does Mr. Prevot think the term « critical concentration », first introduced by Macy, entirely suitable for foliar diagnostic work ?*

It implies a precise concentration, theoretically possible, but in practice optimum yields are associated with a limited range of nutrient concentrations.

R. — Le terme « niveau critique » peut en effet donner l'impression d'une précision qui ne correspond évidemment pas à l'imprécision inhérente à toute expérimentation agronomique. Il est bien entendu que lorsque nous parlons, comme Macy, de niveaux critiques, il s'agit de « zones » dont les limites inférieures et supérieures ne sont pas elles-mêmes mathématiquement déterminées. Nous retenons le terme « niveau critique » parce qu'il est imagé et concis.

HALAIS (Îles Maurice). — *L'introduction d'une correction de l'optimum P en fonction de la teneur en azote n'est-elle pas analogue à une correction en fonction de l'humidité dont la plante a pu disposer ; car il existe une forte corrélation positive entre eau et azote. Avec la canne à sucre, Clements aux Hawaï et Evans en Guyane anglaise, tiennent compte soit de la teneur en eau de la gaine ou des hauteurs de pluies tombées dans la quinzaine précédant l'échantillonnage des feuilles, pour interpréter la déficience en P d'après les teneurs foliaires.*

R. — Nous n'avons pas étudié cette corrélation possible.

LIWERANT (Toulouse). — *Je désirerais simplement demander s'il n'a pas été constaté que, pour produire une même récolte optimum, la zone critique de K_2O dans les feuilles était inférieure en sol calcaire qu'en sol acide ; autrement dit, que pour fournir un même rendement, la plante préleve moins de potasse en sol calcaire qu'en sol acide. Des observations faites sur vigne et sur pomme de terre semblent indiquer qu'il en est ainsi.*

R. — Sans pouvoir à l'heure actuelle préciser les niveaux critiques de K pour sols acides ou calcaires, nous avons trouvé en moyenne des teneurs en K nettement plus élevées sur sols très acides (pH 4,5 — 5,0 — Moyen-Congo) que sur sols moins acides (pH 6,0 — 6,5 — Sénégal).

MADGWICK (England). — *Analysis of data from two series of forest plots gives N/P of about 15 (range 12-17). However in a third series on sand overlying chalky boulder clay, the ratio is much lower c. 5. Is this related to the calcium in the soil ?*

R. — Il est possible que la chute du rapport N/P résulte simplement d'une mauvaise nutrition azotée sur sables appauvris en matières organiques.

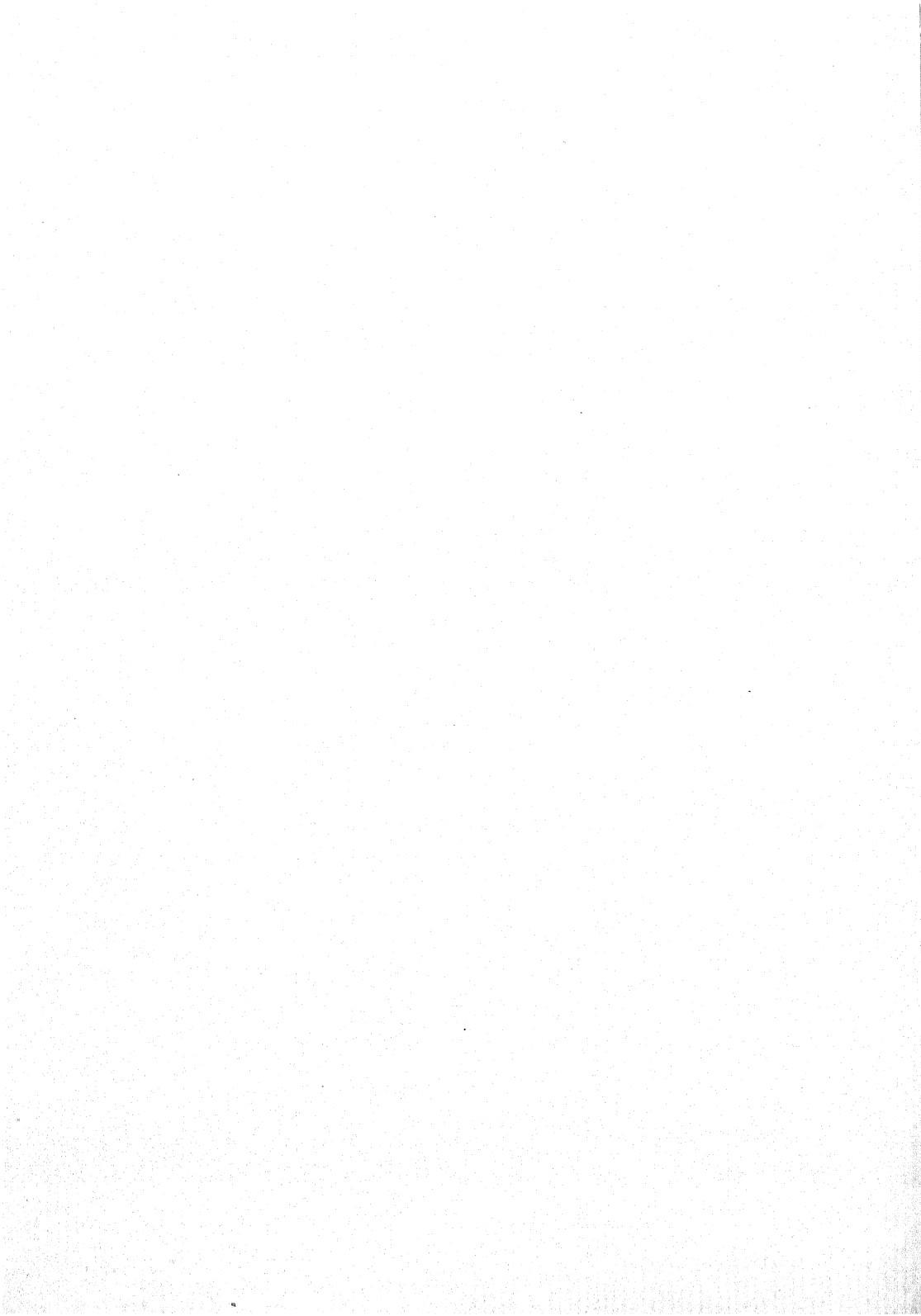
WALSH (Dept. of Agriculture. Dublin). — *In looking into the whole question of mineral nutrition of plants, I think analysis for mineral constitution (and nitrogen) only is a relatively rough way of approaching the problem. For instance, in one work on the nutrition of tomatoes, we have found a critical level of K at 1%.*

With an increment of potassium, there was an increase in yield with a K level fall to 0,75 %. This showed that it was not K deficiency in the plant which limited growth but rather a more basic physiological disturbance in the organic constitution of the plant. If we know more about such effects we would I think develop more accurate mechanismus of assessment.

R. — Peut-être, dans l'expérience citée, s'agit-il d'un effet de dilution provoqué par une augmentation considérable de croissance. Mais nous sommes bien d'accord avec le Dr Walsh : des études plus poussées sur les relations entre éléments minéraux et métabolisme général de la plante permettront sans doute d'améliorer nos méthodes d'interprétation des résultats de diagnostic foliaire à ce point de vue, la notion de facteur limitant est du plus haut intérêt.

DEUXIÈME PARTIE

OLIGO-ÉLÉMENTS



Verbesserung der Pflanzennährungsbedingungen durch Mangandüngemittel

P. A. WLASSJUK

Akademie der Wissenschaften,
Institut für Pflanzenphysiologie der Ukrainischen S. S. R., Kiew.

Das zwanzigste Jahrhundert ist in der Biologie durch eine tiefgehendere Forschung des Pflanzennährung, als der wichtigsten Bedingung der Ertragssteigerung gekennzeichnet.

Die neuzeitliche Physiologie der Pflanzennährung wendet ihre ganze Aufmerksamkeit dem Verhältnisse zwischen den biologischen Eigenschaften der Pflanzen, den enzymatischen Prozessen und der Wirkung der Spurenelemente zu.

Unter allen Verfahren zur Forderung der Produktions-steigerung der Pflanzen, zog die Anwendung von Mangandüngemittel aus den Abfallprodukten der Manganerzindustrie der U. d. S. S. R. die Aufmerksamkeit des Autors auf sich. Zu diesen gehören die Abfallprodukte beim nassen Aufbereitungsprozess der Manganerze aus dem Vorkommen Nikopol USSR, die sogenannten Schlamme, die Abfallprodukte der Vorkommen in Mittelasien, Baschkirien (Ulu-Teljak), Georgien (Tschiatur und anderen Orten, als auch die von Autor vorgeschlagene neue Art von Büngemitteln, das manganisierte granulierte Superphosphat.

Auf Grund von langjährigen Forschungen wurde der Mangangehalt in den Boden der USSR, die Symptome des Pflanzenhungrers nach Mangan und anderen Nährungselementen, als auch die Bedeutung und Wirkung der Mangandüngemittel, kennengelernt.

Es wurde gezeigt, dass die Auspeicherung beweglicher-und Wechsel-formen des Mangans in den Arten und genetischen Schichten des Bodens, vom Charakter der Bodenbildung in den einzelnen natürlichen wirtschaftlichen Zonen des Landes abhängt.

In der Zusammensetzung der südlichen Schwarzerden der Steppen-zone der USSR sind genügend grosse Vorräte an beweglichen Mangan-formen enthalten (0,055-0,097 %).

In den Schwarzerden der Waldsteppe ist nur eine sehr unbedeutende Menge an beweglicher Manganform (0,025-0,029 %) enthalten, was von der Notwendigkeit der Anwendung von Mangandüngemittel in diesen Gebiete zeugt.

Die ausgelangten und ausgebleichten Boden und die Schwarzerden der Waldsteppe, und Waldnahen Gegenden der USSR, haben einen grösseren Gehalt an beweglicher Manganform. Die Rasen-Aschenboden und Braunerden der gebirgigen Karpathenzone haben einen genügenden Gehalt an beweglicher Manganform.

Im nördlichen Teil der Ukraine sind die rasen- und schwach aschenerdigen Boden viel reicher an Mangan, als selbst die ausgebleichten Schwarzerden der Waldsteppe. In den südlichen Bezirken der USSR sind die aschenähnlichen Alkaliboden und Salzboden durch den kleinsten Mangan gehalt gekennzeichnet.

Unter den Bedingungen der Dnieprnahen Terassen, sind die verkrusteten Alkaliboden besonders arm an beweglicher Manganform. Das wird durch die hohe Wirksamkeit, der für die Zuckerrüben, Getreide, Gemüsekulturen und Kartoffeln auf diesen Boden beigegebenen Mangandüngemittel bestätigt. Die versalzten Wiesenarten der Auboden haben einen grösseren Gehalt an beweglicher Manganform die Alkaliboden.

Die feuchten, waldigen und rasen-aschenerdigen Boden unter den Bedingungen von Walrbeständen, haben reiche Vorräte an beweglicher Manganform, welche, verteilt nach genetischen Schichten, eine Tiefe von 220 cm erreichen.

In den grauen waldigen, wiesen-moorigen, und insbesonders in den rasen-aschenerdigen Bodenarten in den Gärten, sind ungenügende Vorräte an beweglicher Manganform, und eine hohe Wirksamkeit der Mangandüngemittel festgestellt worden.

Die Wurzausscheidungen der Pflanzen, in deren Zusammensetzung organische Säuren und Fermente (Phosphatase, Urease) enthalten sind, förderten immer die Spaltung und Vorbereitung für die Pflanzen schwerlöslicher organischer Verbindungen der Bodennährelemente, darunter auch des Mangans.

Es wurde festgestellt, dass den aus dem Boden eintretende Mangan sich rasch bewegte, und auf alle Organe der Pflanze verteilte.

Beobachtungen des Pflanzenwachstumes, durchgeführt von 20-ten Mai bis zum 27-ten September ermittelten, dass die Mangelsymptome der normalen und ertragreichen Sorten, sich während der Keimungsperiode der Zuckerrübensamen heftig bei Stickstoff-, Phosphor- und Kalimangel, und im weiteren bei Mangel an anderen Nährlementen, äusserten. Die Hungersymptome der ertragreichen Zuckerrübensorte äusserten sich im frühen Alter.

Nach äusserten Merkmalen, wurden sie durch folgende Besonderheiten gekennzeichnet :

bei bedeutendem Stickstoffmangel kamen die Keimlinge langsam an die Oberfläche, das Wachstum der Wurzelkeime verschlechterte sich merklich, auf den blassgelben Keimblättchen zeigten sich bräunliche Umrundungen. Es bildeten sich kleine, wächserngelbe Blätter mit rötlichen Punkten. Die Pflanze nahm xerophile Eigenschaften an.

Ungeachtet des guten Aufschiessen der Keime an die Oberfläche, nahmen die Keimplappen bei merklichen Phosphormangel eine intensive Grünfärbung mit Bläue an, das Knie unter den Keimplappen streckte sich, die Wurzelkeime wurden dunkler und das Wachstum hörte auf. Die Zuckerrüben ertrugen besser einen schwachen Phosphormangel, besonders in den späteren Vegetationsperioden.

Bei Kalimangel, waren die Hungeranzeichen im Verlaufe der ersten 10-15 Tage wenig bemerkbar. Nichtdestoweniger brümmten sich die Keimblättchen und die Blättchen, die Blattspreiten und die Blattspindeln verkürzten sich, die Blattrippen verdickten sich und wurden brüchig. Nachher zeigten sich auf den Blattspindeln zuerst dunkle Punkte und dann Streifen und Flecken. Auf den Blättern bildeten sich hellbraune Streifen. Die charakteristischsten Kennzeichen des Kalihunders waren die ungenügend entwickelten Wurzeln und ein kleiner Zuckergehalt.

Bei Natriummangel formte die normale Zuckerrübe genügend intensiv die Wurzel, entwickelte aber schwach die Blätter. Bei der Zuckerrübe ertragreicher Richtung, waren die Natriummangelsanzeichen, den bei Kalimangel bestimmten, nahe.

Bei Magnesiummangel, wurden die Hungeranzeichen erst 36 Tage nach Anfang des Wachstums der Zuckerrübe festgestellt. Nach einer 50-tägigen Vegetationsperiode, begann um den Wachstumspunkt eine Bräunung und ein Absterben der Blätter.

Der Manganmangel der Zuckerrübe führte zu einer Störung der Assimilationsfunktionen der Blätter-die Blattspreiten wurden braun und starben ab. Es wurde auch ein brandartiges Verdorren der Blätter und das Entstehen auf ihnen von schwarzen Flecken, begleitet von einer morphologischen Deformation der Blattspreiten, festgestellt.

Das Ausfallen eines bedeutenden Teiles der Blattspreiten, das brandartige Verdorren der Blattenden, das Verwelken und dann Verdorren der Spindeln, waren die bezeichnendsten Merkmale des Manganhunders der Zuckerrübe. Im Fall von rechtzeitiger Beigabe von Mangandüngemitteln, verschwanden nach 48-72 Stunden die Manganmangel-symptome, das Wachstum setzte wieder ein, und die Blätter nahmen eine normale Grünfärbung an.

Bei Eisenmangel verblasssten die Zuckerrübenblätter, das Chlorophyll zersetzte sich in verstärkten Masse, und die Enden starben ab.

Die Änderung der normalen Oxydations-Reduktionseigenschaften des Gewebe waren der Gauptgrund, dass beim Mangel ingendeines Nährstoffelementes, das Wurzelgewicht, der Zuckergehalt und die Zusammensetzung der Rübe sich krass änderten, und die allgemeine Produktivität abnahm.

Für das aufängliche Wachstum der Zuckerrübe waren das Vorhandensein von Stickstoff, Phosphor, Kali und Natrium von grosser Bedeutung. In der Mitte der Vegetation, waren neben Stickstoff, Phosphor und Kalium Magnesium, Eisen und Mangan von grosser physiologischer Bedeutung.

Die am Anfang des Wachstums vom Mangel irgendeines Nährstoffelementes hervorgerufenen biochemischen Änderungen, wirken sich auf das weitere Wachstum, die Atmung, die synthetisierende Tätigkeit der Fermente und die Produktivität der Pflanzen aus. Bei Ergänzung dieses Mangels stellten sich die Lebenstätigkeit und die Produktivität des Pflanzen nicht im vollem Masse wieder ein.

Zur Erhöhung der Atmungsintensität, der Aktivität der Fermente und der Chlorophyllbildung, sind Kali und Mangan von grosser Bedeutung. Stickstoff-, Magnesium-, Mangan- und zum Teil auch Eisenmangel verringerten den Chlorophyllgehalt der Blätter. Bei Stickstoffmangel, wie zur Mitte, als auch zum Ende des Wachstums, speicherten sich in den Blättern grosse Kohlenhydratemengen an, aber ihre Bewegung zu den Wurzeln verlangsamte sich.

Phosphor wirkte sich während der Nacht weniger auf die Bewegung aus, während beim Mangel an diesen Element, sich im Laufe des Tages in den Blättern Monozucker anspeicherten.

Kali erhöhte die synthetische Tätigkeit der Fermente und förderte gleichzeitig die Bewegung der Kohlenhydrate aus den Blättern in die anderen Organe der Pflanzen.

Eisenmangel führte bei Tag und in den frühen Morgen-stunden zu einer starken Hemmung der Bewegung der Monozucker aus den Blättern in die Wurzeln.

Magnesium förderte die Bewegung, aktivierte aber nicht die Umwandlung der Monozucker in Sacharose.

Bei Manganhunger wurde die Anspeicherung von Monozuckern in den Blättern am Tage, eine Hemmung ihrer Umwandlung in Sacharose und ihrer Bewegung aus den Blättern und Stielen in Wurzeln sowohl bei Tag als auch bei Nacht, beobachtet.

Mit Hilfe von Leitisotopen wurde festgestellt, dass das Spurenelement Mangan, sowohl bei der Nitrat als auch der ammoniakalischen Stickstoffnährung der Pflanzen, einen intensiveren Austausch des Phosphor der Ribonuckleinsäure-und der Thymusnuckleinsäure, als auch des Phosphor der Phosphorlipoide und der gesammten Menge der Nuckleine und Proteide, förderte. Unter der Wirkung von Mangan verringerte sich die Austauschgeschwindigkeit der mineralischen Phosphors in den Blättern, während sie in den Wurzeln zunahm.

Die physiologische Bedeutung des Mangans lag darin, dass es an der Bildung eines instabilen Komplexes zwischen der Ketosäure und dem Fermenteiweiss, welches bei seiner Spaltung die Decarboxylierung dieser Säure bedingte, teilnahm.

Das Mangan förderte eine intensivere Bindung des Phosphor an die Konstitutionseiweisse als an die Reserveeiweisse, wie bei der Nitrat- als auch bei der Ammoniakalischen Stickstoffnährung der Pflanzen.

Unter der Wirkung des Mangans ist die Ausstauschgeschwindigkeit des Schwefels bei Nitratstickstoffnährung weniger ausgeprägt als bei Ammoniaknährung. Dabei bewegte sich unter der Einwirkung des Mangans der,

sich in die verschiedene Prozesse des Photosynthese einschliessende, Kohlenstoff 14 viel intensiver aus den Blättern in die Wurzeln.

Die Verbesserung der Nährbedingungen durch Mangandüngemittel förderte eine wesentliche Ernteertragshöhung, Qualitäts-steigerung verschiedener landwirtschaftlicher Produkte, Intensivitätssteigerung der Photosynthese, Auspeicherung und Bewegung der Zucker, eine Steigerung des Vitamine- und Kaloriengehaltes der Huns aus langjährigen, Gräsern, als auch eine sparsamere Nutzung der Nährstoffe und des Kohlenstoffes zur Bildung eines höheren Ernteertrages der landwirtschaftlichen Kulturen.

Durch anatomische Untersuchungen wurde zum ersten Male festgestellt, dass das Hauptparenchym der Halme des Winterweizens, unter dem Einflusse des Mangans, einer viel rascheren Verholzung unterworfen war und die Funktion mechanischer Gewebe ansübtet, was zu einer starken Produktivitätserhöhung des Wintergetreides führte.

Die günstige Wirkung des Mangans, wurde in einer Verlängerung des Jarowisierungsstadiums um 10-12 Tage festgestellt, was zu einer Erhöhung der Lebensfähigkeit und Kältebeständigkeit, als auch des Ernteertrages des Winterweizens führte. Dabei erhöhte sich der Glutengehalt, und sein Gehalt an Gliadin auf Kosten der Verbesserung seines Verhältnisses zum Glutenin in den Winterweizensamen, und gewann die Verwandlung des Tirosins, Glycyls und Alanin in Eiweisskörper, an Intensität.

Bei der Behandlung der Samen mit Lösungen von Manganverbindungen, bildete sich eine grosse Quantität freier Aminosäuren, verstärkte sich der Stockstoffaustausch, nahm die Geschwindigkeit der Samenkeimprozesse zu, was zu einer Ernteertragshöhung der verschiedenen landwirtschaftlichen Kulturen und Qualitätssteigerung führte. Der Zuckergehalt der Rübenwurzeln stieg im Durchschnitt um 0,5 — 0,75 %, der Eiweissgehalt im Winterweizernkorn um 1,5 — 2 %, der Zuckergehalt in den Früchten der Gartenerdbeeren um 2,5 % und der Vitamin-C-Gehalt um 14 %.

Die Beinährung der Pflanzung mit Mangansalzlösungen über die Blätter, förderte ebenfalls eine bedeutende Ernteertragshöhung und Qualitätssteigerung der landwirtschaftlichen Produktion.

Es wurde gezeigt, dass das Mangan indem es die Urease inaktivierte, die fermentative Zersetzung des Harnstoffe verhinderte, was zur Vermeidung der Stickstoffverluste in den flüssigen und festen organischen Düngemitteln und Komposten führte.

Die weiteren Untersuchungen zur Feststellung der physiologischen Rolle des Mangans, müssen auf das Studium des Wechselbeziehungen seiner Wirkung bei geweinsamer Beigabe mit anderen Düngemitteln, und im Zusammenhange mit den Bedingungen der Umweltverhältnisse, gerichtet werden.

Bei der Infiltration in die Blätter, förderte das Mangan bei allen Kulturen die Zunahme der synthetischen und das Abnehmen der hydrolytischen Wirkung des Fermentes Invertase. Es wurde gezeigt, dass das Mangan, indem es ein starkes Oxydationsmittel für ammoniakalische — und Reduktionsmittel für die Nitratformen der Stickstoffnährstoffe ist, eine heftige Aktivi-

tätserhöhung der Fermente und der Mikroflora des Bodens förderte, was zur Folge hatte, dass seine Anwendung als Düngemittel, in Form von Abfallprodukten der Manganerzindustrie, der Schlamme, oder in Form von manganisierten granulierten Superphosphat, eine heftige Erhöhung der Lebensfähigkeit von Pflanzenorganismen, Rentabilitätssteigerung nach sich zog.

Gegenwärtig wird die Anwendung von Manganspurendüngemitteln auf den Feldern der Kollektiv- und Sowjetwirtsschaften der Ukrainischen SSR auf einer Fläche von über 500 tausend Hektar alljährlich, verwirklicht.

Zur Gewährleistung der Mangannährung der Pflanzen wurde vom Autor eine neue Methode zur Herstellung von manganisierten granulierten Superphosphat vorgeschlagen und studiert. Diese Methode besteht in einer Granulierung des pulverförmigen Superphosphats 10-15 % Manganschlamm und 3-4 % Kreide. Das auf diese Weise erhaltene neue kombinierte Düngemittel ist dunkelgrau und enthält 17,8 — 18,3 % aufnehmbarer Phosphorsäure, 2-3 % Manganoxyde 1,7 -2 % freier Acidität und 99 feste Gränüle. Das manganisierte granulierte Superphosphat zeigte sich bedeutend wirksamer als das gewöhnliche granulierte Superphosphat.

Die ökonomische Wirksamkeit in Abhängigkeit von den Bodenbedingungen und den Eigenarten der Kultur, drückte sich für Mangan-düngemittel in einer Erhöhungs des Reinertrages, für Getreidekulturen um 28-50 Rubel und für technische Kulturen um 119-249 Rubel pro Hektar aus.

Das erstmalig in der Sowjetunion hergestellte manganisierte granulierte Superphosphat zeigte sich als ein sehr Wirksames neues Düngemittel, welches die Steigerung der Ernte-ertrages von Zuckerrüben, Mais, Winterweizen, Sourenblumen, Kartoffeln und Hopfen, bei gleichzeitiger Qualitätssteigerung verschiedener landwirtschaftlicher Produktion, gewährleistete.

Occurrence and correction of micro-element and magnesium deficiencies in deciduous orchards and vineyards in the Union of South Africa

by E. BEYERS

Western province fruit research station, Stellenbosch, South Africa.

I. INTRODUCTION

The widespread occurrence of certain micro-element deficiencies of deciduous fruit trees and vines in the Union of South Africa and the pressing need for effective control measures have necessitated an intensive study of methods of diagnosis and curative treatments by the W. P. Fruit Research Station at Stellenbosch.

This paper is submitted to indicate the incidence of the prevailing deficiencies and to present some of the experimental evidence which has led to a better understanding of techniques for successful treatment under South African conditions.

A record of the early work on these deficiencies from 1931 to 1941 may be gathered from reports by Van der Plank (23), Anderssen (1), the Division of Plant Industry (19) Malherbe (14) Reinecke (20), Dippenaar (12) and Oberholzer (17). These and subsequent reports indicate that deficiencies of Zn, Mn, Cu, Fe and Mg occur in most of the fruit growing areas of South Africa. The general distribution is well illustrated in a paper by Schutte (21). Boron deficiency has been identified in citrus in Transvaal (private communication, 1956) but not in deciduous fruit.

Most of the deciduous fruit in South Africa is produced in relatively large commercial orchards and vineyards in the Western Cape Province which falls in the winter rainfall area of the Union. The deciduous fruits of economic importance in this area are mainly peach, apricot, apple, pear, plum and grape. In 1950 it was estimated that about 3,000,000 out of a total of 8,000,000 bearing fruit trees (excluding vines) were affected with micro-element deficiencies.

The soils in the coastal region are generally rather poor, low in organic matter content, often sandy and badly leached. They have a low base adsorption capacity and are generally acid in reaction. The practice of liming such soils in the past has greatly aggravated deficiencies of Zn and Mn which are found, often in acute form, in all varieties of fruit and on all

soil types whether sandy or heavy, alluvial or residual. The Cu and Mg status as determined by leaf analyses has frequently been found to be low but severe cases of Cu and Mg deficiencies are confined to acid sandy soils.

The more arid regions further inland provide soils of greater fertility but these are often highly calcareous and alkaline ; — conditions which favour lime-induced chlorosis.

2. DESCRIPTION OF DEFICIENCY SYMPTOMS

In the diagnosis of mineral deficiencies in fruit trees various approaches are possible as is well set out by Wallace (24), but, in spite of its many shortcomings, none is as convenient from a practical standpoint as the visual method of symptom diagnosis. In addition to its important rôle in the identification of nutrient disorders it has proved invaluable as a routine measure in determining micro-element requirements.

Deficiency symptoms in fruit trees are described and illustrated in publications by Wallace (24), Childers (11), Bear (2), Kitchen (13) etc. In presenting a brief description of symptoms the writer attempts to illustrate only the more prominent features which characterize the deficiencies in South African orchards and vineyards and which have been found most helpful in diagnosis.

a) ZN DEFICIENCY

« Little Leaf » is probably the most distinctive symptom of Zn deficiency. New growth in spring is checked in one or more terminal parts of the tree, shoots fail to elongate or have short internodes and the leaves remain small and narrow and usually chlorotic between the main veins. Rosettes of small chlorotic leaves are also common in peach and apple. Terminal leaves on current shoots may develop interveinal chlorosis and in the case of peach, wavy margins.

Fruit buds on affected twigs usually fail to develop and if they do the fruits remain small ; in peach and apricot they may be pointed and flattened. The stunted branches are prematurely defoliated but generally survive until winter when they die back to a varying extent.

b) MN DEFICIENCY

Interveinal chlorosis of the leaves is the main feature of Mn deficiency in all fruits except pears in which case the leaves turn yellowish, as in N deficiency, without much evidence of a chlorosis pattern. Chlorosis invariably appears first in the older fully expanded leaves at the base of current shoots, and on spurs. If the deficiency is acute, all the leaves become chlorotic and somewhat reduced in size, shoot growth is restricted, and premature defoliation and die-back of terminals may occur. Fruiting is not usually directly affected unless the deficiency is serious in which case fruit buds

may be devitalized to such an extent that blossoming and fruit set are sometimes markedly reduced.

c) CU DEFICIENCY

The only deciduous fruits known to be affected with visual symptoms of Cu deficiency in South Africa at present are apple and pear. Leaf symptoms usually appear early in summer in the form of a necrosis of the terminal leaves on actively growing current shoots; in pears the leaf tips turn black whereas in apples reddish necrotic spots may appear in the leaves prior to tip and marginal scorch. This is followed by a certain amount of defoliation as the shoots die back in summer. These symptoms correspond to those recently described by Bould et al (9).

The bark on the older wood tends to become necrotic and deeply fissured. This rough bark has consistently been observed in both apple and pear orchards affected with summer die-back symptoms.

d) FE DEFICIENCY

The first signs of lime-induced chlorosis always appear in the young terminal leaves of current shoots eventually spreading to older leaves. The chlorosis pattern resembles a network of green veins on a yellowing background but severely chlorotic leaves become totally bleached, followed by more or less necrosis and shedding. Although the young terminal leaves are first affected, the terminal growing points of shoots remain active for a time so that there may be fair extension growth on chlorotic trees, but growth vigour ultimately deteriorates, leaf size is reduced, shoot growth is arrested, fruiting deteriorates and shoots or branches die back.

Grape vines appear to be far less susceptible to lime-induced chlorosis than stone and pome fruits.

e) MG DEFICIENCY

Moderate to severe symptoms of Mg deficiency have been encountered in apples, prunes and grapes. The deficiency produces a distinctive form of leaf chlorosis arising as a pale green discolouration near the leaf margin which changes to bright yellow (or red in the case of certain grape varieties) until a broad marginal zone is affected extending inwards between the main veins. Chlorosis appears in midsummer and develops first on the older leaves at the base of current shoots or on spurs, spreading until all the foliage is affected. Chlorosis is often accompanied or followed by marginal scorch and sometimes premature defoliation. Fruiting generally does not show signs of deteriorating until vigour and shoot growth have been markedly reduced.

Chlorosis in apple invariably follows the pattern as illustrated, having been observed in White Winter Pearmain, Golden Delicious, Starking

and Granny Smith. The central purple tinting and brown necrosis found on Mg deficient leaves of Cox Orange Pippin and Lane's Prince Albert (Wallace 24, and Mulder, 16) have not been encountered in apple varieties grown in South Africa.

3. METHODS OF CORRECTING MICRO-ELEMENT AND MAGNESIUM DEFICIENCIES IN ORCHARDS AND VINEYARDS

A. REVIEW OF LITERATURE

It seems to be generally conceded that spraying at a safe concentration is a very effective method of feeding fruit trees and vines with nutrient salts of Zn, Mn, Cu and Mg. Soil application of the sulphates of Zn, Mn, Cu and Fe results in variable responses depending upon the soil type and reaction, and often incurs the risk of toxic effects due to accumulation in the soil. Injection of nutrients into the tree trunk, although effective, is considered unsatisfactory as a general orchard practice even though it is of practical value when other methods are ineffective as in the case of lime-induced chlorosis.

The feasibility of foliar spray feeding is marred by the hazard of spray injury to delicate plant tissues. To avoid that risk, spraying when the trees are dormant is often preferred. Thus Benson (3,4) stated in 1953 that a dormant spray of 4.0% Zn sulphate (36% Zn) was the standard method of correcting Zn deficiency in Washington State. He also recommended a supplementary leaf spray of 0.30% Zn sulphate (36%) in autumn for apple and pear and considered earlier sprays with Zn sulphate or ZnO suitable only for non-bearing trees in view of the risk of fruit russetting. He stated further that apricot trees were unusually sensitive to Zn leaf sprays.

Bould (8) in England preferred a dormant spray of 4 to 5% Zn sulphate since a leaf spray of 0.1% Zn sulphate at petal fall caused spray injury in certain varieties. Thorne & Wann (22) recommended a dormant spray of 1.5 to 3% Zn sulphate and a leaf spray of Zn sulphate plus Ca(OH)₂ (5 : 2 1/2 : 1000) for fruit trees in Utah. Dippenaar (12) in South Africa found a better response in peach to a late spring leaf spray of Zn sulphate plus Ca(OH)₂ (10.5 : 1000) than to a dormant 2.0% Zn sulphate spray whereas the latter appeared more effective on Kelsey plum. With regard to grapes, Childers (11) reported that Zn deficiency responded to leaf sprays of Zn sulphate plus Ca(OH)₂ (10 : 5 : 1000) and to painting of pruning wounds with a solution of 20% Zn sulphate.

Most workers have found a leaf spray of Mn sulphate at a concentration of about 0.2% effective and safe for the correction of Mn deficiency in fruit trees. Thorne & Wann (22) obtained a relatively poor response to dormant application of 2.0 to 4.0% Mn sulphate. Boynton (10) concurred with this, stating that «dormant sprays appeared to be less effective in

the control of Mn deficiency of fruit trees than in the control of Zn deficiency ».

Bould et al (9) corrected Cu deficiency in apple and pear by (a) soil application of 1/2 lb. Cu sulphate, per tree (b) dormant spray of 4.0% Cu sulphate in February (c) leaf spray of 0.05% Cu sulphate at the end of April and (d) solid injection.

It is well known that fruit trees are slow to respond to soil application of Mg sulphate and that leaf sprays are effective during the season of application. A series of 3 to 6 sprays with 2.0% Mg sulphate at fortnightly intervals during spring has been found to be effective on apple and grape.

B. AIM OF THE INVESTIGATION

With reference to the correction of Zn and Mn deficiencies in particular the existing treatments in 1950 were not always effective and the available evidence in the literature was inadequate as a basis for the practical control of these disorders under South African conditions. In seeking to formulate a satisfactory technique the following had to be considered :

a) Since Zn sulphate cannot be safely used as a foliage spray without the addition of Ca(OH)₂, and since the use of this mixture has certain disadvantages in practice and reduces the range of compatibility with other spray materials, what can be used as a substitute for Zn sulphate ?

b) Dormant sprays of Zn sulphate for deciduous fruit trees are favoured by workers in the United States of America and elsewhere, whilst dormant sprays of Mn sulphate are not recommended. The question is whether dormant sprays are really as ineffective in the case of Mn deficiency as seems to be generally believed.

c) What is the best time for nutrient spray application and how often should sprays be repeated ?

d) Is it possible to find some other practical technique of application which will provide a greater residual effect than is possible through spray application ?

To answer these and related questions as well as problems concerning the treatment of Cu, Fe and Mg deficiencies, numerous treatments were tested out in a series of field experiments on different fruit varieties and in different districts over the period 1950 to 1956.

C. MATERIALS AND METHODS

The experiments described below have all been carried out in orchards exhibiting visual symptoms of deficiency, where a large enough group of uniformly affected trees were available on a particular soil type. Treatments were replicated 4 to 6 times and plots laid out in randomized blocks in each case.

Nutrient materials. Commercial grade materials, containing small amounts of metallic impurities, were used throughout :

Zinc sulphate, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 22 % Zn.

Zinc oxide, ZnO , 80 % Zn.

Zinc oxysulphate, $\text{ZnSO}_4 \cdot 3\text{Zn(OH)}_2$, 53 % Zn.

Manganese sulphate, $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 38 % Mn.

Copper sulphate, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 25 % Cu.

Copper oxychloride, $\text{CuCl}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$, 50 % Cu.

F. T. E. (Fritted trace elements), a proprietary material containing 4.4 % Zn, 4.4 % Mn, 0.4 % Cu, 11.0 % Fe, 2.5 % B and 0.2 % Mo in a relatively insoluble form.

S. V. T., a home-made mixture of vermiculite containing 25 % Zn sulphate, 25 % Mn sulphate and 12.5 % Cu sulphate.

Methods of application. Sprays were applied by means of a 4 gallon knapsack spray pump. A spreader of the wetting-spreading type (such as Teepol 410, Triton B. 1956 or Agral LN) was added to all spray mixtures which did not already contain a spreader or lime sulphur. Care was taken to avoid spraying under humid conditions or late in the afternoon since these conditions favour spray injury effects.

Soil treatments were carried out by (a) the usual procedure of fertilizer application over the root area or (b) a special treatment in which 1 or 2 lb. each of Zn, Mn and Cu sulphates were well mixed with two barrow loads of well decomposed compost or manure and the mixture applied in 8 holes, 18 inches deep and about 7 inches wide, around the periphery of the tree. Fresh or concentrated manures were not considered suitable for this purpose.

Measurement of treatment effects. The criteria employed in evaluating the relative effectiveness of treatments were intensity of deficiency symptoms and in some cases the nutrient content of the leaves.

a) *Scoring system.* In assessing the symptom status, each experimental tree was scored individually at different times during the season, visually estimating the proportion of the tree affected according to a scale ranging from a value of 0.0 for trees showing no symptoms to 5.0 for trees completely affected. The symptom scores may be treated statistically like any quantitative value as indicated by Morrow et al (15).

b) *Leaf analyses.* The chemical composition of leaves sampled from the middle portion of current shoots was used as an aid in interpreting differential effects in some of the experiments. Leaf samples were washed in a 0.2 % solution of Teepol 410 (a Na higher alkyl sulphate) and rinsed in tapwater and finally distilled water prior to drying at 70°C. The elements Mn, Cu, Mg and K were determined spectrographically on the ash according to the procedure described by Pienaar (18).

D. RESULTS

i) Leaf spray concentrations in relation to spray injury.

In attempting to simplify leaf spraying-operations by omitting $\text{Ca}(\text{OH})_2$, Zn oxide and Zn oxysulphate, which had recently appeared on the market as spray nutrients, and Mn sulphate were tested out at concentrations low enough to prevent spray injury under local conditions. They proved to be as effective as the Zn and Mn sulphate plus $\text{Ca}(\text{OH})_2$ mixtures at equivalent strength, having the added advantage of a greater range of compatibility with fungicides and insecticides.

However, tests in different areas showed that varietal susceptibility to spray injury had to be taken into account. Zn oxysulphate was found to be somewhat less phytotoxic than Zn oxide at equivalent Zn content. The spray concentrations found effective in correcting Zn and Mn deficiencies without causing spray injury may be grouped according to type of fruit, as follows :

a) *Plum and apricot trees* were found to be particularly susceptible to spray injury in the form of leaf spotting, scorch and defoliation. Concentrations of 0.05 % Zn oxysulphate, 0.025 % Zn oxide and 0.1 % Mn sulphate were found safe for these fruits under local conditions.

b) *Peach and non-bearing apple and pear trees* have not shown any harmful effects following sprays of 0.1 % Zn oxysulphate, 0.05 % Zn oxide and 0.1 % Mn sulphate, but fruit russetting occurred on Ohenimuri trees when sprayed at these concentrations during the two month period following the greentip stage.

c) *Grape vines* appeared to be fairly tolerant and double the spray concentrations stated for peach have been used without harmful effects.

Copper foliar sprays of 0.1 % Cu oxychloride (50 % Cu) were found safe to use on non-bearing apple and pear trees and 0.3 % on grape vines, but addition of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ was necessary to prevent spray injury on peach, apricot and plum trees, and any form of Cu mixture caused fruit russetting on apple and pear trees when sprayed during the two month period following the green-tip stage.

Magnesium sulphate at 2.0 % caused no harmful effects on any kind of fruit tree or grapes. Five or six applications during spring prevented chlorosis in Mg deficient apple trees and grapes (Beyers, 5).

Foliar sprays of Fe chelates (Fe-DTPA, Fe-HEEDTA and Fe-EDTA) or Fe sulphate at 0.1 to 0.2 % produced no improvement in peach trees subject to lime-induced Fe deficiency chlorosis, the only response being green spotting of the leaves.

2) The effect of dormant sprays in correcting Zn and Mn deficiencies.

The inconsistent response to dormant sprays frequently experienced in South Africa prior to 1952 not only with Mn sulphate but also with Zn sulphate when applied in solution, seemed to suggest that some factor ope-

rated to reduce the absorption of the nutrient material. Dormant trees apparently have the ability of absorbing nutrients sprayed on the bark albeit at a much slower rate than through the leaves. If the spray residue must adhere to the bark for some time to be adequately absorbed either through the bark or when the buds open, it seems likely that rain, which often falls during the period of bud movement when dormant sprays are usually applied, may have removed some of the soluble nutrient material and so prevented sufficient absorption by the tree.

Accordingly, precipitating agents such as Lime sulphur and $\text{Ca}(\text{OH})_2$, which may be expected to reduce such loss, were tried in 1952 in combination with 4.0% Mn sulphate in peach, plum, apple and pear orchards suffering from Mn deficiency. The results, presented graphically in Fig. 1, showed that lime sulphur in particular improved the effectiveness of the dormant application of Mn sulphate (Rain followed soon after spraying in two of the experiments). The lime sulphur treatment also produced the most consistent response, as indicated by the relatively small variation of the values for the four experiments, and increased the Mn content of the leaves.

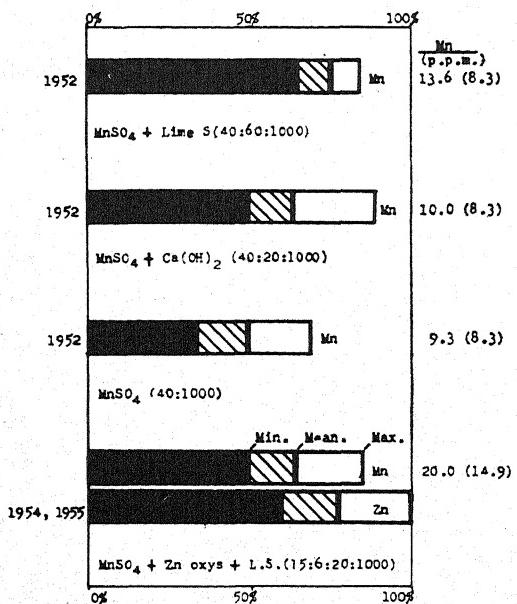


FIG. 1. — Mean, Max. and Min. % Reduction of Mn and Zn deficiency symptoms. Effectiveness of dormant spray mixtures in correcting Mn and Zn deficiencies in peach, plum, apple and pear, as determined in terms of reduction of deficiency symptoms and increase of leaf Mn (p. p. m. dry material, the values in brackets referring to the untreated samples).

A further series of four experiments in 1954 and 1955 (Mn Zn columns in Fig. 1) showed that it was possible, when 2.0% lime sulphur was added as a sticker, to reduce the dormant spray concentration to 1.5% Mn sulphate without appreciable loss of effectiveness. Zn oxysulphate and Zn oxide at equivalent Zn concentrations (0.6% and 0.4% respectively) were found to be as effective as 1.5% Zn sulphate in correcting Zn deficiency in dormant sprays containing lime sulphur.

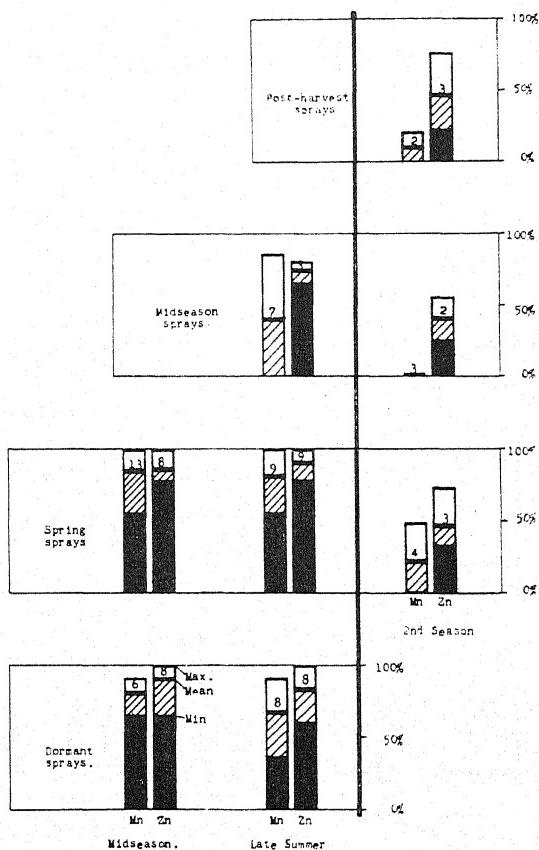
In view of the above it therefore seems very likely that the poor responses to dormant sprays obtained in early tests and also reported for Zn sulphate (12) and Mn sulphate (10 and 22) resulted from inadequate absorption due to the absence of a suitable "sticker". Furthermore, lime sulphur evidently does not destroy the effectiveness of Zn in nutrient mixtures as claimed by Benson (3), but the fungicidal potency of lime sulphur is impaired and for this reason lime sulphur when used as a "sticker" in combination with metallic salts, cannot be regarded as an effective fungicide.

When apple, pear and prune trees are sprayed with winter-oil and D. N. C. at bud movement, the dormant nutrient spray should be applied a week earlier since absorption of micro-nutrients is reduced if preceded by or mixed with oil.

3) Timing of nutrient sprays.

Treatment in the dormant state, where applicable, or at the latest soon after growth starts would appear to be essential to prevent the development of stunted tissues and chlorosis caused by Zn and Mn deficiencies. Treatment at this stage coincides with the maximum response, and therefore the greatest benefit, that can be derived from spray applications of Zn and Mn nutrients, as is well illustrated in Fig. 2. («Spring» sprays in Fig. 2 refer to foliage sprays applied at or soon after 90-100 % petal fall.). According to the mean values obtained

FIG. 2. — Mean, Max. and Min. % Reduction of deficiency symptoms. Effectiveness of Zn and Mn sprays applied at different times on peach, plum and apple trees as estimated in terms of % reduction of deficiency symptoms. (The numbers denote the number of experiments from which the data have been compiled).



ned under a wide range of conditions there was very little difference between the beneficial effects of dormant and spring sprays for deciduous trees.

Grape vines responded well to leaf sprays applied at intervals after the young shoots have reached a length of about 6 inches.

In the case of bearing apple and pear trees early leaf sprays although very effective, are not recommended owing to the risk of fruit russetting so that dormant sprays are usually employed. Recent tests have shown that Zn and Mn sprays at dormant strength (0.6% Zn oxysulphate or 0.4% Zn oxide plus 1.5% Mn sulphate, but without lime sulphur) when applied at the green-tip stage in combination with a Cu fungicide (e. g. 0.3% Cu oxychloride) were as effective as the usual dormant application. The comparatively limited occurrence of acute Cu deficiency in apple and pear orchards may be attributed partly to the general use of this Cu treatment in controlling *Fusicladium* which naturally also provides nutrient Cu.

Midseason leaf sprays were most unreliable as a corrective for Mn deficiency but appeared to be quite effective in removing symptoms of Zn deficiency which had developed in spring.

Post-harvest sprays had no immediate effect on the symptom status and the residual effect in the following season was small and inconsistent.

Residual effects. The values shown in Fig. 2 indicate a moderate and fairly consistent residual effect following the Zn foliage sprays, sufficient to warrant the possibility of a slight build-up of Zn content following spraying. In comparison the residual effect of Mn sprays was negligible.

The conclusion drawn from the foregoing is that one Zn spray and two Mn sprays, preferably as dormant or spring sprays if applicable, should be applied every season, at any rate until such time as the deficiency symptoms disappear.

On the basis of these and other results it has been possible to draw up spray programmes combining nutrient mixtures with fungicidal and insecticidal sprays (Beyers 6, 7), and these formulations are widely used in orchards and vineyards in the Western Cape Province at the present time.

4) *Other methods of applying micro-nutrients.*

As an alternative to spray application various soil treatments, which may have a greater residual effect, have been investigated, particularly the following :

a) *Broadcast applications* of vermiculite impregnated with Mn, Zn and Cu sulphates (referred to as S. V. T. in Fig. 3) and another trace element fertilizer F. T. E., containing the essential micro-elements in a relatively insoluble form. S. V. T. was applied in peach and plum orchards on soil with a pH of 6.8 to 7.1. As shown in Fig. 3 a fair response was obtained in the first year after application and the treated trees continued to improve in the second season.

F. T. E. on the other hand produced little response as a soil dressing in

FIG. 3.— Mean percentage reduction of Mn and Zn deficiency symptoms. Effectiveness of trace element fertilizers in correcting Mn and Zn deficiencies as determined in terms of reduction of deficiency symptoms and leaf analyses. (The numbers denote Mn and Cu contents as p. p. m. of dry material, the upper referring to treated and the lower to untreated samples).

the same orchards and in an apple orchard (soil pH 6.7), except for a slight increase in leaf Mn.

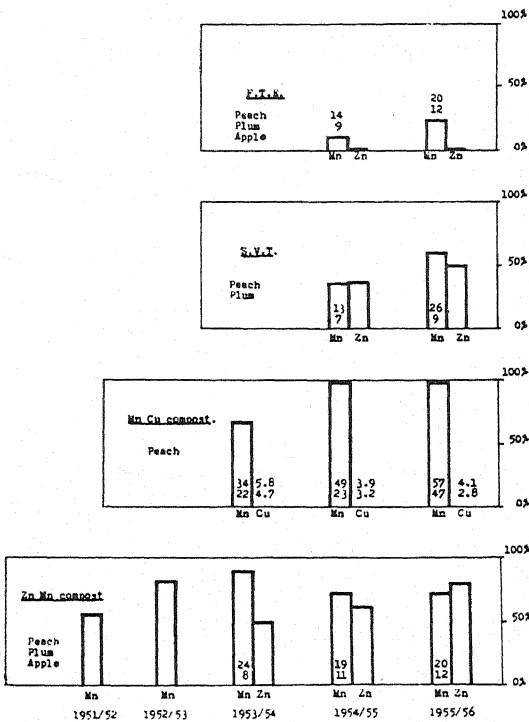
b) *Compost-sulphate mixtures.* Another form of application consisted of a special treatment in which 1 to 2 lb. each of Zn, Mn or Cu sulphates were mixed with 2 barrow-loads of well decomposed compost or manure, and the mixture applied in 8 holes 18 inches deep and about 7 inches wide around the periphery of the tree. Results have been very favourable as indicated in Fig. 3.

With Mn and Cu SO₄ applied to peach (soil pH 5.8) in 1953, Mn deficiency symptoms have disappeared altogether, and with Mn and Zn sulphate applied to peach, plum and apple (soil pH 6.7 to 7.1) in 1951, both Mn and Zn deficiency symptoms have been reduced to a low level over a period of 5 years. No toxic effects have been observed following this treatment, evidently due to the dilution provided by the compost.

Leaf analyses indicated that appreciable amounts of Mn were absorbed following these soil treatments, but the degree of reduction of deficiency symptoms was not consistent with the Mn increase. Leaf analyses failed to show any increase in absorption of other elements present in F. T. E. and S. V. T. materials, but the Cu content following application of the Cu sulphate compost mixture was increased, although not to the same extent as Mn. (Zn however was not determined).

c) *Cu, Fe and Mg treatments.* Preliminary tests indicated that :

i) *Cu deficiency* in apple and pear trees was readily corrected by leaf sprays of neutral Cu compounds such as 0.1% Cu oxychloride in the case of non-bearing trees, and by a fungicidal spray of 0.3% Cu oxychloride at the green-tip stage in the case of bearing trees. Soil treatment in the form



of the compost Cu sulphate mixture (Fig. 3) increased the Cu status of the trees and by inference may be expected to correct a deficiency of Cu.

ii) *Fe deficiency.* Trees suffering from Fe deficiency of the lime-induced variety have not responded well to spraying as already mentioned, nor to a number of soil treatments including dressings of F. T. E., Fe chelates in solid and liquid form, and compost mixtures.

iii) *Mg deficiency* did not respond directly to soil dressings of Mg sulphate, and regular annual applications appear necessary in contrast to the immediate effect of spray applications.

4. SUMMARY

1. The distribution of Zn, Mn, Cu, Fe and Mg deficiencies in deciduous orchards and vineyards in the Union of South Africa is reported and also the symptoms commonly encountered.

2. Correction of Zn and Mn deficiencies in deciduous fruit trees by various techniques has been investigated. Effective control has consistently been obtained by means of

a) Dormant sprays of Mn as Mn sulphate and Zn as Zn sulphate, Zn oxide or Zn oxysulphate, with lime sulphur added as a "sticker" to prevent removal by rain.

b) Leaf sprays of Zn oxysulphate, Zn oxide and Mn sulphate (without hydrated lime), but apple and pear trees were found to develop fruit russetting when sprayed during the two months period following the green-tip stage.

c) A special soil treatment in which 1 to 2 lb. each of Zn and Mn sulphates per tree was mixed with well decomposed compost and applied in holes made around the periphery of the tree. This treatment remained effective for 5 years.

3. Data indicated that Cu deficiency in apple and pear trees may be corrected by the same techniques, using the appropriate Cu materials.

4. Leaf sprays have been found effective in correcting Zn, Mn and Mg deficiencies in grape vines.

ACKNOWLEDGMENT

The writer wishes to thank Mr. W. J. Pienaar, for carrying out the leaf analyses reported in this paper.

REFERENCES

1. ANDERSEN, F. G. 1932. Chlorosis in deciduous trees due to copper deficiency. *J. Pomol.*, 10, 130-146.
2. BEAR, T. E. et al. 1949. Hunger Signs in Crops. The American Society of Agronomy, Washington, D. C.

3. BENSON, N. R. 1953. Nutritional sprays for fruit trees. Proc. Wash. State Hort. Assoc. for 1953, 160-165.
4. BENSON, N. R. 1953. Zinc deficiency and methods of correction. Western Fruit Grower, 7, no 10, 29-30.
5. BEYERS, E. 1955. Effect of fertilizers on composition of grape leaves, with special reference to magnesium deficiency. Union of South Africa, Dept. Agric. Sci. Bull., no 353.
6. BEYERS, E. 1956. Trace element sprays for 1956. The Deciduous Fruit Grower, 6, 74-76.
7. BEYERS, E. 1956. Trace element nutrition in deciduous orchards and vineyards. Farming in South Africa, May et June, 1956.
8. BOULD, C. NICHOLAS, D. J. D., TOLHURST, J. A. H. and POTTER, J. M. S. 1953. Zinc deficiency of fruit trees in Great Britain, J. Pom. & Hort. Sci., 28, 260-267.
9. BOULD, C., NICHOLAS, D. J. D., TOLHURST, J. A. H. and POTTER, J. M. S. 1953. Copper deficiency of fruit trees in Great Britain, Ibid., 28, 268-277.
10. BOYNTON, D. 1954. Nutrition by foliar application. Ann. Rev. Plant Physiol., 5, 31-54.
11. CHILDESS, N. F. 1954. Mineral Nutrition of fruit crops. Horticultural Publications, Rutgers Univ., New Brunswick, N. J.
12. DIPPENAAR, B. J. 1940. Diseases of fruit trees caused by leaf rust, manganese and zinc deficiencies and their joint control. South African J. Sci., 37, 136-155.
13. KITCHEN, H. B. 1948. Diagnostic Techniques for Soils and Crops. The American Potash Institute. Washington 6, D. C.
14. MALHERBE, I. de V. 1934. Little leaf of fruit trees. Farming in South Africa, 9, 312-313.
15. MORROW, E. B., DARROW, G. M. and RIGNEY, J. A. 1949. A rating system for the evaluation of horticultural material. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 53, 276-280.
16. MULDER, D. 1950. Magnesium deficiency in fruit trees on sandy and clay soils in Holland. Plant and Soil, 2, 145-157.
17. OBERHOLZER, P. C. J. 1941. Suspected magnesium deficiency in citrus. Farming in S. A., 16, 235-236.
18. PIENAAR, W. J. 1955. The quantitative spectrographic analysis of plant material with the aid of the direct current arc. Union of South Africa, Dept. Agric., Sci. Bull., no 355.
19. Plant Industry Division. 1932. Leaf chlorosis of fruit trees. Farming in South Africa, 6, 444.
20. REINECKE, O. S. H. 1938. Little leaf in deciduous fruit trees. Ibid., 13, 386-390.
21. SCHUTTE, K. H. 1954. A survey of plant minor element deficiencies in Africa. African soils, International Congress Botany, 3, no 2.
22. THORNE, D. W. and WANN, F. B. 1950. Nutrient deficiencies in Utah orchards. Utah A. E. S. Bul., no 338.
23. VAN DER PLANK, J. E. 1931. Extanthema in citrus trees. Farming in South Africa, 6, 215-216.
24. WALLACE, T. 1951. The Diagnosis of Mineral Deficiencies in Plants. His Majesty's Stationery Office, London.

DISCUSSION

RICHARDSON (Grande-Bretagne). — *What rates of application of spray per acre are used, with foliar sprays?*

BEYERS. — The volume of spray mixture used in foliar spraying with high pressure pumps varies from 200 to 400 gallons per acre. Thus in spraying apricot and plum trees 0.5 to 1.0 lb. Zn plus 0.8 to 1.6 lb. Mn are applied, and in the case of peach, apple and pear, double these amounts, per acre.

BOULD (Long Ashton). — *I was rather surprised at the lack of response to foliage sprays of Fe — DTPA on peaches. We find this crop responds well to iron chelate foliage sprays. Perhaps it is a varietal effect since American work has shown a differential response to urea foliage sprays. M. Beyers might be more successful with Fe-CDTA, a new chelate which has given promising results at Longat Ashton.*

R. — The foliage sprays of Fe-DTPA were tested out on Kakamas peach trees (a yellow clingstone). The treatment consisted of two sprays at 0.1% concentration in spring, adding a wetting-spreading agent (Teepol 410) to ensure uniform wetting of the leaves. There was no improvement in growth, the only effect being green spotting of the leaves.

OPPENHEIMER (Rehovot, Israël). — *I was interested to hear about your favourable results with zinc oxide instead of sulphate. In Israel, we were faced with the replacement of zinc sulphate which gives favourable results for the control of zinc deficiency in citrus trees, by Zn O. The late Mrs. Dr. Lotte Heymann Herschberg recently published together with Dr. Swirsky, like her of the Agricultural Research Station, Rehovot, successful experiments with a combined dusting of sulphur (used generally in June against rust mite (Acarina) and zinc oxide. The results of this insecticide and nutritive dusting were favourable and this application meant less annual expenses for the citrus grower (published in « Hassadeh » (?) Tel Aviv) and in the latest volume of « Ktavim » of the above station, dedicated to the IVth International Congress of Mediterranean Citrus Growers, Tel Aviv, May 1956.*

R. — As stated in the text, both Zn oxysulphate and Zn oxide have proved effective as sprays in correcting Zn deficiency in deciduous orchards, and also in citrus, in South Africa. These Zn compounds and Mn sulphate are combined where possible with compatible fungicides and insecticides such as captan, glyodin, wettable sulphur, DDT and parathion powder which are frequently used as sprays in our orchards.

M. BUTYN. — *Mn SO₄, 0.1% is in Holland mixed with 0.1% hydrated lime to avoid spray damage on the fruits. It has become a routine practice to wait until June (when the first Mn deficiency symptoms appear) before applying this spray.*

Because Zn carbamates are used more and more as fungicides, Zn deficiency is gradually met in an ever smaller number. The curing effect of those sprays are also lasting for more than 1 year.

R. — In South Africa fruit russetting has not been observed following leaf sprays of 0.1% Mn sulphate (38% Mn) when applied without hydrated lime in December (June in the northern hemisphere). Owing to the risk of fruit injury in apple and pear, leaf sprays of Zn, Cu and Mn in spring are avoided, except in the case of Zn carbamate which however I have found to be somewhat less effective in correcting Zn deficiency than Zn oxysulphate and Zn oxide at equivalent Zn concentrations.

Contribution à l'étude de la nutrition minérale de l'arachide

La carence borique et ses effets

par J. MAISTRE

Centre Technique d'Agriculture Tropicale, Nogent-sur-Marne, France

Dans une note présentée en 1955 à l'Académie d'Agriculture, nous avons donné les premiers résultats d'un essai effectué au Centre Technique d'Agriculture Tropicale en 1954. Cet essai avait pour objets essentiels, d'une part de déterminer les symptômes de la carence borique sur l'arachide et, d'autre part, de fixer l'ordre de grandeur du seuil de carence. La Note en question décrivait sommairement le matériel employé et le mode opératoire : culture sur gravier avec subirrigations par des solutions nutritives constituées en partant de la formule de Hoagland et Arnon dans laquelle seule variait la teneur en bore. Le protocole de l'expérience était le suivant :

4 répétitions de 5 traitements

Traitements :	A : 0	ppm de Bore
B : 0,005	—	
C : 0,025	—	
D : 0,050	—	
T : 0,155	—	(dose normale de la solution complète de Hoagland et Arnon).

Parcelles composées chacune d'un bac contenant 4 pieds d'arachide variété 28-204 de Bambe.

La même note décrivait ensuite les effets de la déficience borique sur la végétation. Les folioles des plants des bacs A et, à un moindre degré, des bacs B montraient des plages épaissees, gaufrées, d'aspect graisseux et à teinte vert olive clair nettement différente de celle des aires voisines. Ces plages apparaissent indifféremment sur n'importe quelle partie de la surface du limbe et, dans les cas graves, conduisent à une déformation et même à une mutilation de celui-ci. Le développement général de la plante était nettement ralenti, les entrenœuds fortement raccourcis et le pied présentait un aspect rabougrí. La floraison fut aussi très influencée par l'action de

TABLEAU I
Moyenne des résultats par traitement

Traitements	Dose de Bore (ppm)	Hauteur à la récolte	Poids de la partie aérienne sèche	Nombre de fleurs	Nombre total de gousses	% de fleurs pour une gousse	Poids des gousses mûres (g)	Poids des graines mûres (g)
A	0	10,63	8,64	1,69	0	—	0	0
B	0,005	23,88	29,69	89,94	0	—	0	0
C	0,025	34,03	34,56	125,31	21,63	5,79	8,13	5,03
D	0,05	34,82	34,05	115,94	25,25	4,59	10,25	7,05
T	0,155	36,28	37,61	127,5	22,5	5,67	15,60	6,28

TABLEAU II
Conclusions de l'interprétation statistique des résultats

Traitements	Dose de Bore (ppm)	Hauteur à la récolte	Poids de la partie aérienne sèche	Nombre de fleurs	Nombre de gousses	Poids des graines
A	0	— Inférieur à B, C, D, T	— Inférieur à B, C, D, T.	— Inférieur à B, C, D, T.	— Inférieur à B, C, D, T.	Egal à B Inférieur à C, D, T.
B	0,005	Supérieur à A — Inférieur à C, D, T.	Supérieur à A Egal à C et D Inférieur à T	Supérieur à A — Inférieur à C, D et T	— Egal à A Inférieur à C, D, T	— Egal à A Inférieur à C, D et T
C	0,025	Supérieur à A et B Egal à D et T	Supérieur à A Egal à B, D et T	Supérieur à A et B Egal à D et T	Supérieur à A et B Egal à D et T	Supérieur à A et B Egal à D et T
D	0,05	Supérieur à A et B Egal à C et T	Supérieur à A Egal à B, C et T	Supérieur à A et B Egal à C et T	Supérieur à A et B Egal à C et T	Supérieur à A et B Egal à C et T
T	0,155	Supérieur à A et B Egal à C et D	Supérieur à A et B Egal à C et D	Supérieur à A et B Egal à C et D	Supérieur à A et B Egal à C et D	Supérieur à A et B Egal à C et D

la déficience borique et la fructification nulle pour tous les pieds ayant subi les traitements A et B.

Ces effets sur le développement de la plante sont résumés dans les Tableaux I et II. Ils nous ont permis de conclure à la fixation du seuil de la carence pour l'Arachide aux environs de 0,005 ppm de bore. En effet, si l'on considère la chute de la production comme le critère définissant ce seuil, la dose B se place au-dessous de ce seuil qui se situerait donc entre 0,005 et 0,025 ppm. Toutefois, le fait que le traitement B permet une floraison relativement importante et, surtout, la constatation que la première

feuille apparue dans les bacs B immédiatement après chaque changement de solution ne présentait aucun symptôme, laissent supposer que le seuil de carence est très voisin de 0,005 ppm et légèrement au-dessus de cette dose.

Nous avons cherché à déceler quels pouvaient être les effets de la variation de l'alimentation borique sur la nutrition de l'arachide. A cet effet, nous avons successivement effectué, aux fins d'analyses, quatre prélèvements foliaires sur les rameaux cotylédonaïres ; il s'agit des feuilles de rangs R₁, R₂, R₃ et R₅. La feuille R₁ fut prélevée le 3 juillet, soit 50 jours après le semis, à l'apparition de la première fleur ; R₂ fut cueillie le 13 juillet, 60 jours après le semis, tandis que l'on prenait R₃ le 1^{er} septembre, 110 jours après le semis, pendant la pleine floraison, et R₅ le 11 octobre, 150 jours après le semis, après la fin de la floraison et au moment de la formation des fruits.

Par ailleurs, l'analyse de l'ensemble de la partie aérienne (feuilles et tiges) des plants des différents traitements fut également effectuée à la récolte.

TABLEAU III
Alimentation de la feuille

Traitements		A	B	C	D	T	Degré de signification des différences	
Eléments	Feuille	—	—	—	—	—	degré	d
Bore (ppm)	R ₁	—	23,000	33,875	40,250	38,375	++	±4,290
	R ₂	10,625	20,375	35,250	41,625	37,125	++	±4,138
	R ₃	10,175	18,825	38,500	48,825	53,125	++	±4,800
	R ₅	8,000	14,650	30,125	44,750	58,375	++	±4,430
N %	R ₂	3,925	3,900	3,900	3,650	3,925	—	—
	R ₃	3,300	3,250	3,000	3,000	3,325	—	—
	R ₅	3,350	3,275	3,075	3,125	3,200	—	—
P ₂ O ₅ %	R ₂	0,8129	0,6985	0,7042	0,7214	0,6985	—	—
	R ₃	0,7271	0,6298	0,5153	0,5840	0,5897	++	±0,0684
	R ₅	0,9389	0,7099	0,5439	0,5496	0,5611	++	±0,0738
K ₂ O %	R ₂	3,1481	3,0276	2,9673	3,1631	2,8920	—	—
	R ₃	3,1631	2,8468	3,0577	3,1029	3,0426	—	—
	R ₅	3,4945	3,2083	3,2535	3,3138	3,1029	—	—
CaO %	R ₂	3,7975	4,5850	4,7425	4,9700	4,7075	++	±0,5263
	R ₃	3,8325	4,7075	4,9875	5,1450	4,9700	++	±0,686
	R ₅	3,3075	4,3575	4,8650	5,1625	5,0575	++	±0,512
MgO %	R ₂	0,5186	0,4648	0,4814	0,4939	0,4690	—	—
	R ₃	0,6889	0,5561	0,5520	0,5893	0,6101	+	±0,083
	R ₅	0,7470	0,6267	0,6350	0,7014	0,6972	—	—
S (N + P ₂ O ₅ + K ₂ O) %	R ₂	7,8860	7,6261	7,5715	7,5345	7,5155	—	—
	R ₃	7,1902	6,7266	6,5730	6,6869	6,9573	—	—
	R ₅	7,7834	7,1932	6,8724	6,9884	6,8640	—	—
S'(K ₂ O + CaO + MgO) %	R ₂	7,4642	8,0774	8,1918	8,6270	8,0685	+	±0,628
	R ₃	7,6845	8,1104	8,5972	8,8372	8,6227	++	±0,589
	R ₅	7,5490	8,1925	8,7535	9,1777	8,8576	++	±0,807

Cet ensemble d'analyses nous a donné des résultats intéressants qui seront exposés dans un article en préparation à paraître très prochainement dans « l'Agronomie Tropicale ». Nous en donnerons ci-dessous les principales conclusions.

A. DIAGNOSTIC FOLIAIRE

a) ABSORPTION DES ÉLÉMENTS

Le tableau III donne les moyennes des teneurs des divers éléments dans les différentes feuilles prélevées.

i) Le Bore

La très faible quantité de matière obtenue par le prélèvement des feuilles de rang R₁ ne nous permettant pas le dosage de tous les éléments, nous l'avons réservée au dosage du bore.

Quel que soit le rang des feuilles, l'action des traitements sur leur teneur en bore se révèle hautement significative et les plus petites différences significatives sont du même ordre de grandeur.

La figure 1 donne les courbes des variations de la teneur en bore des

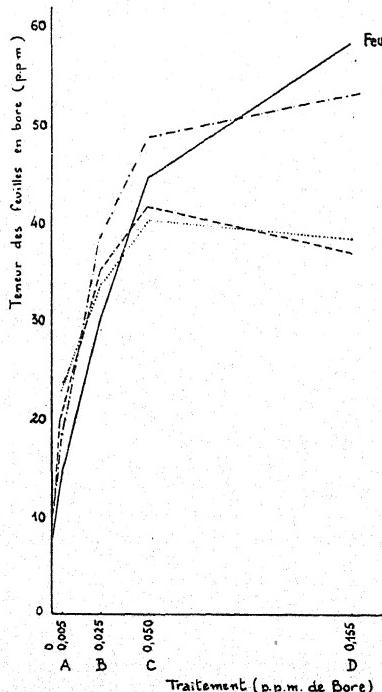


FIG. 1. — Variations de la teneur en bore des feuilles de rangs différents en fonction du traitement.

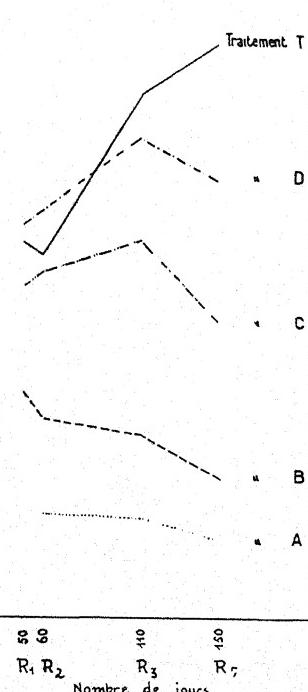


FIG. 2. — Variations, par traitement, de la teneur en bore des feuilles en fonction de leur date de prélèvement.

différentes feuilles en fonction du traitement. On constate que les courbes de R₁ et R₂, très voisines, passent par un maximum correspondant au traitement D ; par contre les courbes de R₃ et R₅ ne cessent de croître.

La variation par traitement de la teneur en bore des feuilles en fonction de leur date de prélèvement (fig. 2), montre que pour les traitements A et B la teneur ne cesse de décroître de la R₁ à la R₅. C'est l'inverse pour le traitement T tandis que les actions de C et D s'avèrent intermédiaires : teneur d'abord croissante jusqu'à la R₃ et décroissante ensuite.

La plus forte teneur en bore relevée dans les feuilles des traitements A et B, ne dépasse pas respectivement 13 et 25 ppm. Par contre, les plus faibles teneurs trouvées pour les traitements T, D et C sont 32, 36 et 27,5 ppm. Si, d'après le critère de production, nous estimons le seuil de carence en bore situé très près et légèrement au-dessus de 0,005 ppm, nous

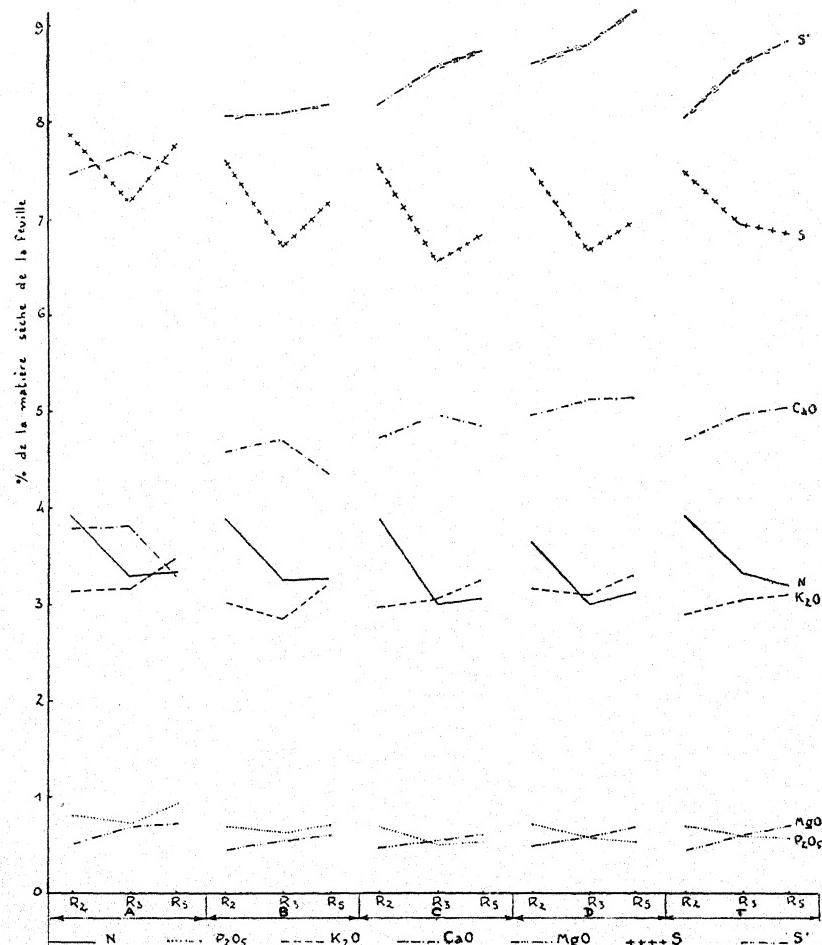


FIG. 3. — Variation de l'alimentation de la feuille en fonction du temps et du traitement.

pouvons conclure que tout résultat analytique des feuilles inférieur à 25 ppm est signe de carence.

2) Les autres éléments

L'interprétation statistique des résultats analytiques montre que l'essai est toujours valable pour tous les éléments considérés, la variation due aux blocs étant très faible. On ne trouve d'actions significatives des traitements que sur l'absorption du phosphore et du calcium. La figure 3 donne la variation de l'alimentation de la feuille en fonction du temps et du traitement.

La nutrition phosphorée est fortement influencée par l'action des traitements à partir de la pleine floraison (R_3 et R_5) : la carence borique exagère l'absorption du phosphore.

La nutrition calcique varie aussi beaucoup selon le traitement, la carence borique ayant une action dépressive sur l'absorption du calcium.

b) L'ALIMENTATION GLOBALE DE LA FEUILLE

Les différences constatées entre les diverses valeurs prises par $S = N + P_2O_5 + K_2O$ ne peuvent, statistiquement, être attribuées à l'action des traitements.

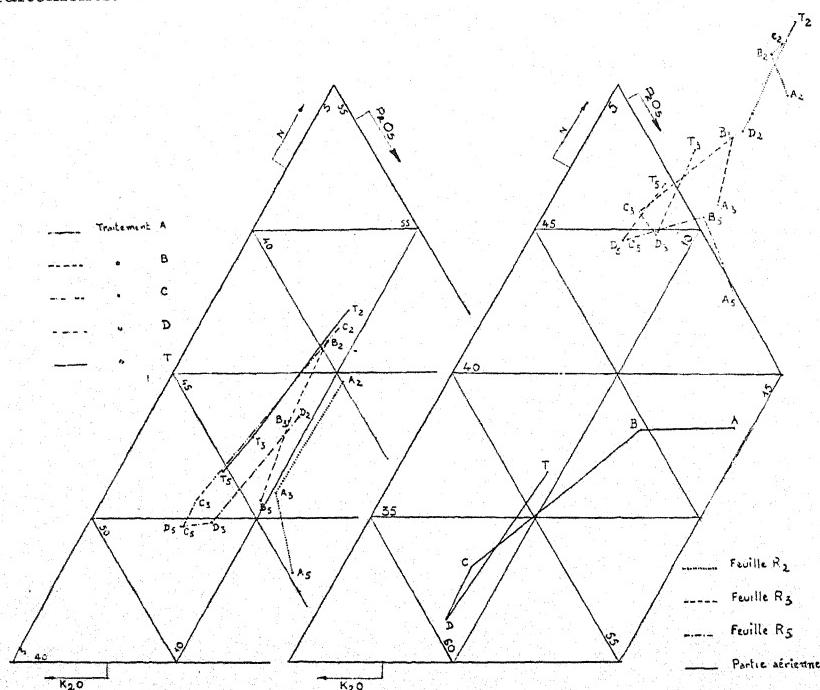


FIG. 4. — Feuilles - Equilibres N - P - K (Variations par traitement).

FIG. 5. — Equilibre N - P - K (Variations dans les feuilles et dans la partie aérienne).

Par contre, la somme des bases, $S' = \text{K}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO}$ est influencée d'une manière hautement significative, le principal facteur de cette fluctuation étant la forte variation de la teneur en CaO.

c) LES ÉQUILIBRES N-P-K ET K-CA-MG

La figure 4 montre la variation selon le traitement de l'équilibre N-P-K, exprimé en N, P₂O₅ et K₂O, tandis que la figure 5 précise le sens de cette variation en fonction du rang de la feuille.

L'influence du traitement est beaucoup plus marquée sur l'équilibre K-Ca-Mg (fig. 6 et 7).

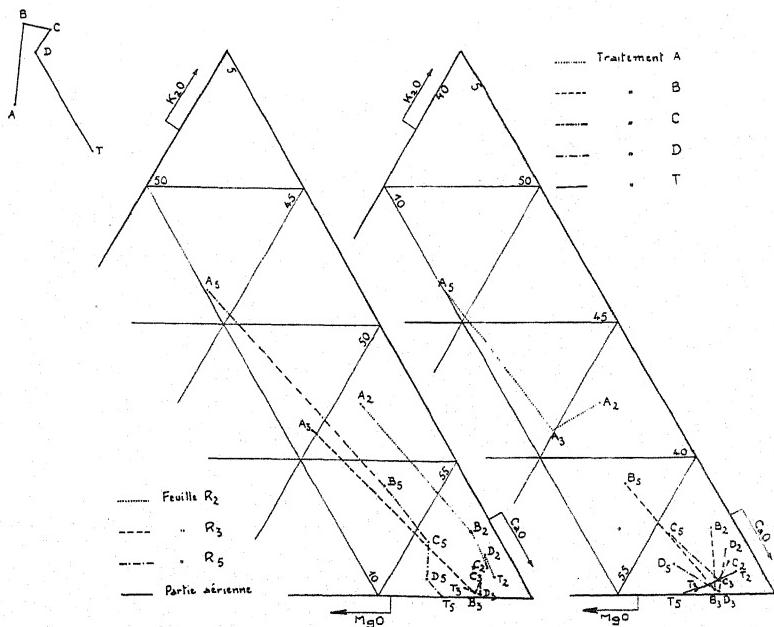


FIG. 7. — Equilibres K - Ca - Mg (Variations dans les feuilles et dans la partie aérienne).

FIG. 6. — Feuilles. Equilibre K - Ca - Mg (Variations par traitement).

B. ALIMENTATION DE LA PARTIE AÉRIENNE (ensemble tiges et feuilles).

a) ÉLÉMENTS

L'analyse de l'ensemble de la partie aérienne des plants soumis aux traitements a donné les chiffres moyens présentés dans le tableau IV.

TABLEAU IV
Alimentation de la partie aérienne

Eléments	Traitements					Degré de signification des différences	
	A	B	C	D	T	Degré	d
Bore (ppm)	21,435	25,115	33,393	45,168	51,174	++	$\pm 7,86$
N %	3,08	2,72	2,23	2,15	2,30	++	$\pm 0,168$
P ₂ O ₅ %	1,16	0,83	0,60	0,62	0,60	++	$\pm 0,0746$
K ₂ O %	3,81	3,57	3,87	4,05	3,38	++	$\pm 0,262$
CaO %	2,46	2,11	2,36	2,51	2,48	++	$\pm 0,214$
MgO %	0,91	0,70	0,71	0,82	0,72	++	$\pm 0,044$
S (N+P ₂ O ₅ +K ₂ O)	8,05	7,12	6,70	6,82	6,28	++	$\pm 0,285$
S' (K ₂ O+CaO+MgO)	7,18	6,38	6,94	7,38	6,58	++	$\pm 0,444$

1) *Le Bore*

La variation de la teneur en bore en fonction du traitement donne une courbe assez voisine de celle obtenue en partant de la feuille R5.

2) *Les autres éléments*

Pour tous les macro-éléments, l'analyse statistique des résultats montre non seulement la validité de l'essai mais aussi l'influence hautement significative des traitements. La figure 8 résume les variations des teneurs de la partie aérienne en fonction des traitements.

Pour la nutrition azotée, la teneur NA des plants ayant subi le traitement A est significativement supérieure à NB, NC, ND et NT. De même, NB est intermédiaire entre NC, ND et NT mais les différences entre ces trois dernières doses ne peuvent, statistiquement, être attribuées aux traitements.

Il en est exactement de même pour la nutrition phosphorée et l'on peut écrire : PA > PB > PC, PD, PT.

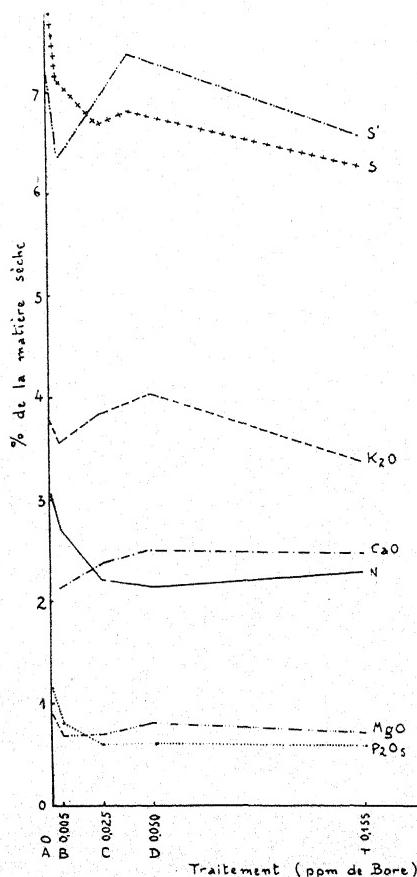


FIG. 8. — Variation de l'alimentation de la partie aérienne en fonction du traitement.

L'action du traitement sur l'alimentation potassique est plus complexe et l'on a KD, KC, KA > KB, KT.

Le calcium varie dans le même sens que K mais seul le traitement B a une action hautement significative. On a CaD, CaT, CaA, CaC > CaB.

Enfin, pour le magnésium on a, d'une part, MgA, MgD > MgT, MgC, MgB et, d'autre part, MgT > MgB.

b) L'ALIMENTATION GLOBALE

Conséquence de la variation significative de tous les macro-éléments, les variations de S et S' sont également significatives.

c) LES ÉQUILIBRES N-P-K ET K-CA-MG

L'allure de la variation de l'équilibre N-P-K dans la partie aérienne est assez analogue à celle constatée dans la feuille R5 (fig. 5) mais elle est beaucoup plus accentuée que cette dernière.

Par contre, l'allure de la variation de l'équilibre K-Ca-Mg de l'ensemble tiges-feuilles paraît assez différente de celle observée dans les feuilles (fig. 7). L'amplitude de la variation est aussi bien moindre.

CONCLUSIONS

Le seuil ou niveau critique de la carence borique se situe pour l'arachide légèrement au-dessus de la dose 0,005 ppm.

La déficience se manifeste par un ralentissement très net de la croissance et par des symptômes foliaires caractéristiques principalement constitués par la formation de plages épaissies, gaufrées, à teinte vert olive, réparties sur la surface de la foliole et pouvant conduire à une déformation de celle-ci.

La floraison et la fructification sont également très affectées par l'insuffisance de bore dans le milieu nutritif.

La déficience borique du milieu se marque très nettement sur la teneur en bore des feuilles de rangs divers aussi bien que sur la richesse en cet élément de l'ensemble de la partie aérienne de la plante. Sur les feuilles, on peut estimer que tout résultat analytique inférieur à 25 ppm de bore est signe de carence du milieu.

De plus, la déficience borique du milieu a des effets marqués sur l'alimentation de la plante. Sur les feuilles, cette influence se manifeste par une augmentation de la teneur en phosphore et par une diminution concomitante de la teneur en calcium, modifiant nettement l'équilibre K-Ca-Mg. Sur l'ensemble de la partie aérienne, l'influence de la teneur en bore du milieu se traduit par une variation caractérisée de l'absorption de tous les macro-éléments aboutissant à une modification plus marquée de l'équilibre N-P-K.

Lime-superphosphate fertilizer topdressing of soils derived from basalt and andesite and its effect on element levels of a grass

by N. WELLS

Soil Bureau, Dept. of Scientific and Industrial Research, Wellington,
New Zealand

SUMMARY

Plant and topsoil molybdenum analyses from sites on soil sequences derived from the weathering of basalt and andesite are used to illustrate the unavailability of molybdenum remaining in the leached clay topsoils.

Lime-superphosphate release of molybdenum to a grass, *Anthoxanthum odoratum*, is discussed in relation to reduction of the molybdate retentive capacity of the soil, the levels of iron, aluminium and titanium in the grass and the crystallization of iron oxide in the soil.

INTRODUCTION

In New Zealand pasture growth responses to additions of sodium molybdate have been obtained from two groups of soils. The first group having very low total amounts of molybdenum in the soil originating from a low level of the element in parent materials such as greywacke and sandstone are not being considered in this paper. The second group having high amounts of total molybdenum occur in soils formed from basalt and andesite. During the weathering and leaching processes of soil formation these soils have not lost their topsoil molybdenum. The relatively high levels of molybdenum in these soils is contrary to what might be expected from the geochemistry of molybdenum (Goldschmidt 1954, Kuroda and Sandell 1954) which associates the higher levels of molybdenum with the later stages in the fractionation of magma. The molybdenum held by the soil against the normal leaching processes of weathering is unavailable to plants. The use of soil sequences, i. e. the arrangement of soils from a single parent material in order of profile development (Taylor 1952), can be used to show at what stage in the soil weathering process molybdenum becomes unavailable to plants.

Investigations into element availability in New Zealand soils (Wells 1956) have been made by making comparisons of the analysis of a grass,

sweet vernal (*Anthoxanthum odoratum*), at the flowering stage with the total analysis of elements in the topsoil. Unavailability of molybdenum is defined as a low level of the element in the plant in the presence of a high level of the element in the topsoil. Sweet vernal takes up molybdenum when sodium molybdate additions are made to the soil, but does not have the growth responses that are found in clovers (Davies and Grigg 1953). From comparisons within soil types, pasture responses to additions of sodium molybdate occur when sweet vernal molybdenum level at the flowering stage is less than, or equal to, 0.1 p.p.m. and possible responses occur up to the level of 0.5 p.p.m., on an oven dry weight basis. Optimum molybdenum level is considered to be between 1 and 2 p.p.m.; high levels of molybdenum in pasture are undesirable as they have been shown by Cunningham (1950) to have an adverse effect on stock health by reducing the copper content of livers.

MOLYBDATE RETENTION BY SOILS

Weathering sequences on individual parent materials show that soils develop anion retentive properties (Wells 1956) and that the highest retentions occur in soils from basalt and andesite. The topsoil retentive capacity was measured by shaking 1 g of soil overnight with 0.00125 g of molybdenum (as ammonium molybdate) in 25 ml of water. The retentive capacity, taken as the percentage of molybdenum held by the soil after filtration, was the sum of effects such as compound formation, adsorption, absorption, and ion exchange; the values for certain classes of soil are given in table 1. Low retentive capacity occurs in young soils where little weathering has taken place, e. g. recent volcanic and alluvial deposits and aeolian sands, also in soils where iron and aluminium have been removed from the topsoil by strong podzolization processes. The highest molybdenum level in the grass (6.5 p.p.m.) occurred on a recent volcanic soil that was weathering rapidly but had developed no molybdate ion retentive capacity.

TABLE 1
The molybdate retentive capacity of soils

Soil Age	Parent material	Molybdate retention % (Wells, 1956)
Recent	Volcanic ashes	0 to 4
"	Alluvium	0 to 4
"	Aeolian sand	0
Non-recent	Sedimentary rocks	0 to 30
"	Strongly podzolized soils	0 to 20
Recent to non-recent	Rhyolitic pumice	4 to 40
"	Andesitic ash	10 to 75
Non-recent	Basalt	10 to 60

SOIL SEQUENCES

In the soil sequences on basalt and andesite, *tables 2 and 3*, comparisons are made between sweet vernal molybdenum level, total molybdenum in the topsoil and the molybdate retentive capacity of the soil from untop-dressed sites. The basalt soil sequence has been formed on olivine basalt flows. In the andesitic soil sequence the less weathered soils are from ash showers arranged in order of increasing age (increasing degree of leaching within showers) and the more weathered soils are from rock or alluvium.

TABLE 2
Soil sequence on basalt flows

Sample No.	Soil Set	Texture of Topsoil	Mo plant p. p. m.	Mo Topsoil p. p. m.	MoO ₄ ²⁻ Retention %
123	Ohaeawai	bouldery silt loam	3.1	8	50
101	"	silt loam	1.2	8	60
151	Kiripaka	bouldery silt loam	0.6	6	28
77	Whakapai	clay loam	0.3	6	36
81	Waiotu	friable clay	< 0.1	5	30
376	Matarau	"	0.1	3	44
109	Kerikeri	"	< 0.1	7	15
97	Ruatangata	"	< 0.1	6	30
94	Taraire	gravelly friable clay	< 0.1	6	20
377	Okaihau	" "	< 0.1	7	25

TABLE 3
Soil sequence on andesite

Sample No.	Andesitic Parent Material	Soil Set	Texture of Topsoil	Mo plant p.p.m.	Mo topsoil p.p.m.	MoO ₄ ²⁻ retention %
174	Ngauruhoe ash	Waimarino	sand	1.5	1	12
164	Burrell ash	Burrell	gravelly sand	0.8	2	2
166	Stratford ash	Stratford	sand	1.7	1	22
163	"	Patua	sandy loam	1.0	3	40
301	Tongariro ash	Ohakune	silt loam	0.8	3	40
168	Egmont ash	Egmont (black)	"	1.1	2	10
167	"	New Plymouth (black)	"	0.8	2	30
172	Mairoa ash	Ohaupo	"	0.5	3	25
69	Hamilton ash	Patumahoe	clay loam	0.7	5	42
65	"	Hamilton	"	0.1	4	75
131	rock	Awapuku	"	0.7	2	12
495	alluvium	Mangakahia	"	0.1	2	20
496	rock	Whatoro	clay	0.2	4	28
133	"	Awapuku	"	< 0.1	2	46
136	"	Waitakere	"	< 0.1	6	44
132	"	Awarua	"	< 0.1	2	48
493	"	Aranga	"	< 0.1	6	30
474	"	Rangiuru	"	< 0.1	4	40
187	alluvium	Kohumaru	"	< 0.1	2	55
468	"	Pakotai	"	< 0.1	3	30

under strong weathering conditions, also arranged in order of increasing degree of leaching. The pH range covered by the sequences are from 6 to 5.

Moderately high plant molybdenum levels can occur where primary mineral breakdown in the soil is rapid, even if it is associated with a high retentive capacity, see the young basalt soil Ohaeawai bouldery silt loam in *table 2*. The plant molybdenum levels are dependent upon the stage of soil development rather than the level of molybdenum in the topsoil; plant analysis from sequences on basalt and andesite indicates that there is low molybdenum availability in leached soils at the clay weathering stage. Molybdenum levels in the topsoils of the sequences on basalt and andesite were not substantially reduced during the weathering process. For a comparison with molybdenum, an element such as strontium at the leached clay topsoil stage of weathering, had been reduced to 1/50th of the values found in the young soils of these sequences.

Several workers have discussed molybdenum availability in relation to fixation by iron in the soil: Oertel and Prescott (1944); Anderson and Oertel (1946); Robinson and Edington (1954). The adsorptive action of soil colloids on the molybdate ion has been investigated by Barshad (1951) who showed how the adsorption decreased on raising the pH to 7.5. The high molybdate ion retention on basalt and andesite soils was related by Wells (1956) to the presence of amorphous oxides of iron and aluminium. It might be expected that the weathered gravelly friable clay, topsoils derived from basalt, having accumulated iron in the ironstone, would have higher anion retentive capacities than the younger, less weathered, topsoils. Fieldes and Swindale (1954) showed that crystallization of the oxides of iron, aluminium and titanium from their amorphous oxides commenced early in the weathering sequence on basalt and at the ironstone, gravelly friable clay stage, the crystalline goethite, gibbsite and anatase were associated with only small amounts of amorphous oxides. It was considered that the loss of surface area of these oxides during crystallization reduced the capacity of the soils to retain the molybdate ion even though the total amount of the oxides had increased during weathering. In the process of crystallizing goethite, molybdenum was fixed in the soil and rendered unavailable to the grass. Crystallization of these oxides in the topsoils from andesite had not proceeded as far as on the basalt soils so their degree of molybdate fixation was less.

LIME-SUPERPHOSPHATE TOPDRESSING

To maintain dairy pastures on the soils mentioned in the soil sequences high amounts of lime-superphosphate fertilizer are required, especially in the more weathered members. The effect of various anions on the molybdate ion retentive capacity of a friable clay from basalt is given in *table 4*. The addition of anions such as chloride and sulphate caused an increase in the molybdate ion retentive capacity of the soil, while vanadate, phosphate

and hydroxyl anions reduced the molybdate ion retentive capacity. The increase in molybdenum availability by liming has been shown by Evans, Purvis and Bear (1951), Robinson et al. (1951); the increase in molybdenum uptake by the presence of phosphate was found by Stout et al. (1951) to be up to tenfold, and could result in half the added molybdenum (1 lb sodium molybdate per acre) being removed in a single crop.

Molybdenum can be considered as normally being weakly held to soil colloids and that anions such as phosphate, vanadate and hydroxyl are

TABLE 4
Molybdate retention, effect of other anions (Wells, 1956)

Soil Type	Anions	Molybdate Retention %	pH
Waiotu friable clay	+ molybdate	36	5.8
	+ molybdate + chloride	64	5.9
	+ molybdate + sulphate	52	5.7
	+ molybdate + vanadate	0	5.8
	+ molybdate + phosphate	0	5.7
	+ molybdate + hydroxyl	18	8.0
	+ molybdate + hydroxyl	2	9.0

TABLE 5
Lime-superphosphate fertilizer top dressing of anion retentive soils

Sam- ple No.	Soil Set	Texture of Topsoil	Years of top- dressing	Fertilizers (ewts. per an.)		Mo plant p.p.m.	Mo topsoil p.p.m.	MoO ₄ ²⁻ retent- ion %	Al plant p.p.m.	Fe plant p.p.m.	Ti plant p.p.m.
				Lime	Super phos- phate						
	BASALT SOILS										
151	Kiripaka	bouldery silt loam	Nil	Nil	Nil	0.6	6	28	380	235	35
373	"	"	2	3	3	0.9	5	14	120	56	6
77	Whakapai	clay loam	Nil	Nil	Nil	0.3	6	36	204	87	17
78	"	"	—	—	—	1.5	6	26	57	35	4
376	Matarau	friable clay	Nil	Nil	Nil	0.1	3	44	150	82	16
80	"	"	2	10	6	0.6	3	14	91	52	10
76	Apotu	friable clay	Nil	Nil	Nil	< 0.1	6	44	82	64	8
372	"	"	3	3	3	0.2	3	0	45	35	2
94	Taraire	gravely friable clay	Nil	Nil	Nil	< 0.1	6	20	220	235 (165)	275 (90)
489	"	"	6	10	3	0.4	8	12	60	65	6
377	Okaihau	gravely friable clay	Nil	Nil	Nil	< 0.1	7	25	270	140	48
476	"	"	5	4	3	0.2	7	22	150	175	28
	ANDESITE SOILS										
69	Patumahoe	clay loam	Nil	Nil	Nil	0.7	5	42	207	171	68
122	"	"	5	Nil	3	1.2	5	40	77	59	12
474	Rangiru	clay	Nil	Nil	Nil	< 0.1	4	0	210	210	25
475	"	"	10	3	2	2.4	3	300	160	21	

Washed sample analyses thus ().

capable of forming compounds that are more insoluble than the corresponding molybdate. When crystallization of iron oxide in a soil is well on the way to completion the molybdenum is not only unavailable to the plants but is to a large extent fixed against release by the normal topdressing anions.

The effects of lime-superphosphate fertilizer topdressings on sweet vernal growing on basalt and andesite is given in *table 5*, the rates of addition were those reported by the farmers. The fertilizer topdressings caused a marked reduction in the iron, aluminium and titanium levels of the sweet vernal. Care was taken in sampling to avoid soil contamination and only slight reductions in the levels of these elements were obtained after washing, with one exception where the washed sample levels of iron and titanium have been included; all other analyses given are on unwashed samples. The topsoil total molybdenum level has not been measureably increased by the lime-superphosphate topdressings (molybdenum content approximately 1 p.p.m.); where retentive capacity has been reduced to zero there is a possibility that some molybdenum has been leached out. The heavy fertilizer applications have not reduced the retentive capacity of the ironstone gravelly friable clays to zero. The fertilizer topdressings gave substantial increases in the plant molybdenum levels but in the more weathered members of the basalt sequence the increase was only slight, due to the strong fixation of the molybdenum by the soil, and remained within the limits for possible pasture growth responses to molybdate applications.

CONCLUSION

Studies of soil weathering sequences on basalt and andesite show that by the leached clay stage the molybdenum in the topsoil is not directly available to a grass. Lime-superphosphate fertilizer topdressings release molybdenum to the grass but where crystallization of iron oxide is extensive the molybdenum release is slight. The lime-superphosphate reduced the capacity of the soil to retain the molybdate ion and substantially reduced the levels of iron, aluminium and titanium in the grass.

ACKNOWLEDGEMENT

The classification of the soils and the collection of samples were made by pedologists of the Soil Bureau with assistance from field officers of the Department of Agriculture.

REFERENCES

- ANDERSON, A. J., OERTEL, A. C., 1946. Factors Affecting the Response of Plants to Molybdenum. *Aust. C. Sci. Ind. Res. Bull.*, 198 : 25-44.
BARSHAD, I., 1951 : Factors Affecting the Molybdenum Content of Pasture Plants- Part 1. *Soil Sci.*, 71 : 297-313.

- CUNNINGHAM, I. J., 1950. Copper and Molybdenum in Relation to Diseases of Cattle and Sheep in New Zealand. A symposium on copper metabolism. The Johns Hopkins Press, 246-270.
- DAVIES, E. B., GRIGG, J. L., 1953. Molybdenum and its use in Grasslands Production. N. Z. J. Agric. 87 : 561-567.
- EVANS, H. J., PURVIS, E. R. and BEAR, F. E., 1951. Effect of Soil Reaction on Availability of Molybdenum. Soil Sci., 71 : 117-124.
- FIELDES, M., SWINDALE, L. D., 1954. Chemical Weathering of Silicates in Soil Formation. N. Z. J. Sci. Tech., B 36 : 140-154.
- GOLDSCHMIDT, V. M., 1954 : Geochemistry Clarendon Press, Oxford.
- KURODA, P. K., SANDELL, E. B., 1954. Geochemistry of Molybdenum. Geochimica et Cosmochimica Acta, 6 : 35-63.
- OERTEL, A. C., PRESCOTT, A. J., 1944. A Spectrochemical Examination of some Ironstone Gravels from Australian Soils. Trans.-roy. Soc. South Aust., 68 : 173-176.
- ROBINSON, W. O., EDINGTON, G., ARMIGER, W. H. and BREEN, A. V., 1951. Availability of Molybdenum as influenced by liming. Soil Sci., 72 : 267-274.
- ROBINSON, W. O., EDINGTON, G., 1954. Availability of Soil Molybdenum as shown by the Molybdenum Content of many different plants. Soil Sci., 77 : 237-251.
- STOUT, P. R., MEAGHER, W. R., PEARSON, G. A. and JOHNSON, C. M., 1951. Mineral Nutrition of Crop Plants. Plant and Soil, 3 : 51-87.
- TAYLOR, N. H., 1952. Pedology as an Aid to Animal Research. Aust. Vet. J., 28 : 183-189.
- WELLS, N., 1956 : Soil Studies using Sweet Vernal to Assess Element Availability. Part 1 : Preliminary Investigations. N. Z. J. Sci. Tech., B37 : 473-482 ; Part 2 : Molybdate ion fixation in New Zealand Soils. N. Z. J. Sci. Tech., B 37 : 482-502.

DISCUSSION

BAUSH (Pays-Bas). — *Is there any thing known about the molybdenum retention capacity of organic matter of sandy soils ? From the figures given, one would not expect any retention. For clays, it seems to be more or less a real fixation.*

R. — Indeed, sandy soils did not show Mo retention, though there was organic mater present. Mr. Fieldes doubts whether it is for clays a real fixation, for when phosphate (H_2PO_4) is added, there is a markable decreased retention. Probably, the retention goes through more or less fixed stages.

M. FERRAND (I. R. H. O., Paris). — *Quel est le taux suffisant de Mo pour Antoxanthum Odoratum ?*

R. — 1 à 2 p. p. m., mais ce taux est celui qui est nécessaire pour le bétail. Il pourrait être moindre pour la plante elle-même. Antoxanthum O. grows very well with a Mo content of 0.1 p. p. m. on oven dry weight.

M. REITH (Macaulay Institute, Aberdeen, Scotland). — *Have any methods been developped to estimate the easily available Mo to correlate with responses in the field ?*

R. — Yes. Grigg J. L., 1953 : Determination of the Available Mo. of soils. N. Z. J. Sci. Tech., A34 : 405-414.

Behandlung von Pflanzen zur Bekämpfung der Eisenchlorose

R. GASSER et G. MUELLER

Forschungslaboratorien der J. R. Geigy A. G., Basel.

Bei der Kohlenstoffassimilation grüner Pflanzen kommt dem Eisen als Katalysator bei der Bildung des Chlorophylls in den Chlorophyllkörnern eine entscheidende Rolle zu. Eisenmangel führt von mangelhafter Entwicklung bis zum völligen Fehlen des Chlorophylls, wodurch chlorotische Pflanzen entstehen, die im Wachstum zurückbleiben, keinen Ertrag mehr geben, Blattfall aufweisen und schliesslich eingehen.

URSACHEN DES EISENMANGELS

Eisenmangel kann in den Pflanzen entstehen, wenn im Boden kein Eisen vorhanden ist, was wohl selten der Fall sein dürfte, oder aber, wenn das im Boden vorhandene Eisen für die Pflanze nicht erschliessbar ist, d.h. von ihr nicht aufgenommen werden kann. Nach den Untersuchungen von *Lundegårdh* (19) beeinflussen die im Boden vorhandenen Nährstoffe, unabhängig von ihrer Konzentration, das Wachstum der Pflanzen nur in dem Grad, in welchem die betreffenden Nährionen, also auch die Fe-Ionen, wirklich von den Wurzeln aufgenommen und von dort aus in die grünen Teile geleitet werden.

Als wichtigste Ursachen, die die Eisenaufnahme verhindern, kommen die folgenden in Betracht :

Hohe Alkalinität (hohes pH) des Bodens, wodurch vor allem wasserunlösliche Eisenverbindungen entstehen, wie Hydroxyde und Oxyde.

Hoher Kalk- oder Phosphatgehalt des Bodens führt einerseits zur Bildung von unlöslichen Eisenkarbonaten und Phosphaten, andererseits werden die Eisenionen im kalkhaltigen Tonboden von den kolloiden Tonteilchen durch Adsorption festgehalten.

Hoher Bikarbonatgehalt (24) und schlechte Durchlüftung des Bodens vermindern die Wurzelatmung, wodurch den Wurzeln die Möglichkeit der Absorption des Eisens und auch anderer Nährstoffe entzogen wird.

Zu einer Reduktion der Wurzelatmung, und damit der Stoffaufnahme, führt auch ein Ueberschuss von andern Metallionen im Boden, wie Cu und Mg.

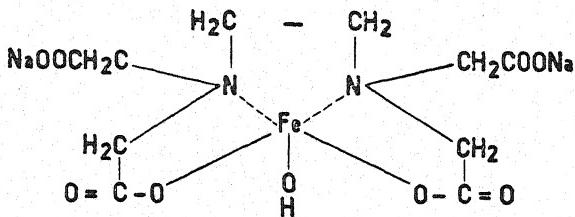
Es ist aber hervorzuheben, dass die genannten Ursachen bei den verschiedenen Pflanzenarten, ja sogar bei verschiedenen Sorten der gleichen Art sehr ungleich zur Auswirkung kommen können (16).

METHODEN ZUR BEKÄMPFUNG DER EISENCHLOROSE

Das Problem der Bekämpfung der durch Eisenmangel verursachten Chlorose stellte sich im Weinbau schon vor einem Jahrhundert, wobei dort der Eisenmangel vor allem durch den hohen Kalkgehalt des Bodens verursacht wurde (17). Seit dieser Zeit versuchte man, mit mehr oder weniger Erfolg, den chlorotischen Pflanzen mit den verschiedensten, oft sehr komplizierten Methoden Eisensulfat zuzuführen.

Eine entscheidende Verbesserung brachte die von *Prioton* und *Vidal* 1934-36 eingeführte Methode des Zusatzes von Zitronensäure zu Eisen-sulfat, die dann auch von amerikanischen Forschern für die Behandlung der chlorotischen Citrusbäume in Florida mit Erfolg übernommen wurde (26). Die Erkenntnis, dass Zitronensäure mit Eisenionen Eisenkomplexverbindungen, sog. Chelate, bildet, und das Eisen auf diese Weise von der Pflanze leichter aufgenommen wird, zeigte den Weg, um nach neuen und wirksameren Chelaten zu suchen. Diese Arbeiten wurden in den USA mit Erfolg weitergeführt, wo vor allem die Citrusversuchsanstalten in Florida und Californien, in Zusammenarbeit mit der Industrie, Versuche im Grossen durchführten.

Die erste synthetische Eisenkomplexverbindung, die *Stewart* und *Leonard* in den Citruskulturen von Florida mit Erfolg einsetzten, war Fe — EDTA (Aethylendiamintetra-essigsäure) (12, 26) die sich zum Beispiel unter der Bezeichnung « *Sequestrene NaFe* » in den USA im Handel befindet.



Nach den Erfolgen an Citrus, die sich sowohl nach Bodenbehandlungen als auch nach Blattbespritzungen einstellten, wurde dieses Präparat in Florida auch an zahlreichen weiteren Pflanzen angewendet. Leider liessen sich die in den sauren Sandböden Floridas erzielten guten Resultate nicht in allen andern Bodentypen wiederholen. So sprachen z. B. die Citruskulturen in Californien nur ungenügend auf die Behandlung mit « *Sequestrene NaFe* » an. Aehnlich war es mit andern Kulturen in den verschiedensten Staaten der USA. Es zeigte sich, dass dieses Präparat sich

hauptsächlich zur Anwendung in leicht sauren Böden eignet. Während Fe — EDTA in sauren Böden stabil bleibt, dissoziert das Salz (20) im alkalischen Bereich. *Stewart et al.* (26) und *Wallace et al.* (29) stellten dabei fest, dass das Fe-Ion durch Vermittlung von OH-Ionen aus der Komplexverbindung verdrängt wird, und das verbleibende lösliche Na — Salz der Aethylendiamintetra-essigsäure in die Bodenlösung geht. Ferner wird nach *Wallace et al.* (30) in kalkhaltigen Tonböden zuerst ein grosser Teil der applizierten Chelatmoleküle durch die kolloidalen Tonteilchen adsorbiert. Der nach der Sättigung des Tons verbleibende Ueberschuss ist beweglich und gelangt schliesslich in die Wurzelzone, wo er aufgenommen werden kann.

Unter den weiterentwickelten Chelaten ergab die Ferrikomplexverbindung der Diaethylentriaminpenta-essigsäure (Fe — DTPA oder Chel 330 HFe) in leicht alkalischen und kalkhaltigen Tonböden bessere Resultate als Fe-EDTA.

Ueber beide Chelate liegen heute in den USA, wo sie im Handel sind, grosse positive Erfahrungen vor (1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 11, 13, 14, 15, 16, 18, 21, 22, 23, 26, 27, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38). Unter europäischen Verhältnissen, wo vor allem im Obstbau grosse Monokulturen auf einheitlichen Böden selten vorkommen, sind diese Präparate bisher nicht über das Versuchsstadium hinaus gekommen. Zahlreichen positiven Ergebnissen, wie z. B. an Pfirsichen und Weinreben in Italien, Birnen und Pflaumen in England (5), Ziersträuchern, Birnbäumen und Reben in der Schweiz stehen ebenso zahlreiche negative Resultate gegenüber.

VERSUCHE ZUR BEKAEMPFUNG DER EISENCHLOROSE

Durch eine seit 1953 im Geigy-Versuchsgut in Pfeffingen auftretende Chlorose an Birnen, ist es uns möglich geworden mit diesen in den amerikanischen Geigy-Laboratorien entwickelten Substanzen eigene biologische Erfahrungen zu sammeln.

Verschiedene *Birnensorten* zeigten eine stetig zunehmende Gelbfärbung des Blattwerkes vor allem an den neu gebildeten Trieben und zuletzt einen vollständigen Wachstumstillstand. Alle während einer Vegetationsperiode spät gebildeten Blätter blieben klein, vollständig gelbfärbt und wurden kurz vor dem verfrühten Abfallen im Herbst teilweise sehr stark nekrotisch. Sorten mit schwerer Chlorose waren :

Eierbirne und Josephine von Mecheln (auf Wildling), Beurré Hardy, Williams panachée, Virginie Baltet, Schmelzende von Thirriot, Hofratsbirne, De Tongres, Président Drouard (alle auf Quitte A).

Weniger stark unter der Chlorose litten :

Pastorenbirne (auf Wildling), Williams Christbirne (Beurré William) Beurré Diel, Louise Bonne, Blumenbachs Butterbirne, Vereins Déchants-Birne (alle auf Quitte A).

Die chlorotischen Bäume stehen auf einem schweren, lehmigen Tonboden von feiner Struktur und schlechter Durchlüftung, mit einem geringen Humusgehalt.

Die pH — Werte, sowie der Kalkgehalt sind in Tab. 1 zusammengestellt.

TABELLE 1

Analysenwerte des Pfeffingerbodens im Gebiet der chlorotischen Birnbäume

	Tiefe cm	pH	CaCO ₃ n. Passon	CaO austauschbar best. in n/lo HCl
Starke	20-30	7.3	29.5-30.5	
Chlorose	0-20	7.3	29.5-30.5	0.827 %
Schwache.....	20-30	7.2	20.5-21.5	
Chlorose	0-20	7.2	18.5-20.0	0.442 %

Wie aus Tabelle 1 hervorgeht, liegt in Pfeffingen nicht nur wegen dem sehr hohen Kalkgehalt, sondern vor allem wegen dem um das Doppelte höheren Prozent-Satz an austauschbarem CaO eine kalkinduzierte Eisenchlorose vor. Allerdings dürfen wir nicht ausser Acht lassen, dass ähnlich dem Eisen auch andere Mineralstoffe nicht mehr aufgenommen werden können, wie aus beobachteten Wachstumsstörungen an Apfelpänen hervorgeht. Die Mängelscheinungen an den Birnbäumen können demnach auf einem ganzen Ursachenkomplex beruhen; sie äussern sich vorerst jedoch als eindeutig erkennbarer Eisenmangel.

Das seltsamerweise fast schlagartige Auftreten der Chlorose seit dem Jahre 1953 findet seine Erklärung im Witterungsverlauf in den vergangenen Sommern.

TABELLE 2

Monatliche Niederschlags — (Ns) und Temperaturmittel (T) während der Vegetationsperiode in Pfeffingen.

Jahr	Mai		Juni		Juli		August		Sept.		\varnothing T °C Mai- Sept.	Ns- Ueber- schuss mm
	T °C	Ns mm										
1949-53 \varnothing	13.2	88.9	17.0	94.6	19.2	82.1	17.9	97.1	19.2	95.3	17.3	—
1953 ...	15.4	77.8	14.2	161.9	19.5	96.4	18.6	83.9	15.4	119.2	16.6	+ 81.2
1954 ...	12.9	81.5	18.0	50.1	17.0	106.7	17.1	180.6	15.2	141.3	16.0	+ 102.2
1955 ...	11.0	104.2	14.4	111.7	16.5	125.2	15.3	103.7	12.5	62.4	13.9	+ 49.2

Wir konnten aus Tab. 2 für die Monate des intensivsten Wachstums und der beschleunigten chemischen und biologischen Reaktionen im Boden eine ausserordentliche Erhöhung der Niederschläge, bei einem gleichzeitigen Absinken der Durchschnittstemperatur, feststellen. Damit waren die Voraussetzungen für eine intensivere Kalkverwitterung geschaffen, und die in vermehrtem Ausmass anfallenden Calciumionen störten den vorher

ausgeglichenen Nährstoffhaushalt. Die ständig zunehmende Durchnäsung dieses Tonbodens reduzierte seine Durchlüftung, so dass die Wurzelaktivität allmählich stark zurück ging.

Ist unter solchen Bedingungen im Ackerbau eine *Bodensanierung* durch Zufuhr von Torf oder andern Humusstoffen, wenn auch unter grossem Aufwand, möglich, so sind dieser Methode im Obstbau Schranken gesetzt. *Ford* (7) konnte feststellen, dass das Wurzelsystem durch Fe-Chlorose massgeblich beeinflusst wird, und zwar bereits vor dem Auftreten der Erscheinungen an den Blättern, so dass sich eine Schonung der Wurzeln aufdrängt. Durch mechanisches Einarbeiten der Humusstoffe bis zu den Wurzeln ist aber eine Verletzung des schon geschwächten Wurzelsystems nicht zu vermeiden, so dass diese Methode kaum in Frage kommen kann. An deren Stelle scheint hier, wie jedenfalls in den meisten übrigen Fällen, die Anwendung von Chelaten am Platze zu sein.

Die *zahlenmässige Erfassung des Chlorosegrades* stösst auf gewisse Schwierigkeiten, da die Fe-Chlorose besonders in den Anfangsstadien sehr ungleich über die Blätter des Baumes verteilt ist und z. B. an Birnbäumen immer die Blätter der zuletzt gebildeten Triebe chlorotisch sind. Während wir zu Beginn der Versuche die Bäume pauschal beurteilten, und sie in 5 Erkrankungsstufen eingliederten (vgl. Tab. 3), gingen wir in der Folge auf Blattbonitierungen über und bestimmten den Prozentsatz chlorotischer Blätter in 5 Chlorosestufen (vgl. Tab. 3), an einer, über den ganzen Baum verteilten Anzahl markierter Triebe. Daraus liess sich ein Durchschnittswert, die sog. Chlorosezahl pro Blatt berechnen, die für ein gesundes Blatt 0, für ein vollständig chlorotisches Blatt 4 beträgt.

TABELLE 3
Bonitierungsschema für verschiedene Chlorosegrade

Chlorose-stufe	Pauschalmethode (ganzer Baum)	Einzelblattmethode (markierte Zweige)
0	Gesund.	Gesundes, tiefgrünes Blatt.
1	Leichte Chlorose an den Blättern junger Triebe.	Blattgrün leicht aufgehellt.
2	Mittelstarke Chlorose, alle Blätter der jungen Triebe, aber auch alte Blätter sind chlorotisch.	Blatt interkostal gelbstichig.
3	Starke Chlorose; der grösste Teil der Blätter ist mehr oder weniger gelb.	Blattspreite gelb. Nur noch den Rippen entlang ist Chlorophyll vorhanden.
4	Sehr starke Chlorose; Blattgrösse stark vermindert, Blätter leuchtend hellgelb, Nekrosebildung, Blattfall, Abdörren der jungen Triebe.	Vollständig hellgelbe Blattspreite, Nekrosebildungen am Blattrand, Blätter stark verkleinert, Abfallen der Blätter.

Die Chelate können sowohl auf die Blätter gespritzt, als auch in den Boden appliziert werden. Die Behandlung der Blätter kann den Vorteil haben, dass sie unabhängig von den Bodeneigenschaften zur Wirkung kommt; andererseits ist aber zu berücksichtigen, dass chlorotische Blätter für alle Spritzungen sehr empfindlich sind und leicht Ver-

brennungen aufweisen. Die nachfolgende Beschreibung der einzelnen Versuche soll einen Ueberblick vermitteln über die Vor-und Nachteile der beiden Methoden.

Ein Versuch an einem Birnenspalier demonstriert die Anwendung von « Sequestrene NaFe » als Blattspray (vgl. Tab. 4).

TABELLE 4

Wirkung von « Sequestrene NaFe » als Blattspray appliziert am 22.5.54

Parzelle	Anzahl Bäume	Chlorosezahl * (ø aller Bäume)		
		22.5.54	13.9.54	Mai 1955
Sequestrene NaFe 1 %	6	2.5	1.3	2.0
Sequestrene NaFe 0.5 %	6	2.5	1.6	2.0
Unbeh.	6	0.5	1.6	3.3

* Pauschal beurteilt.

In diesem Versuch (Tab. 4) bewirkte die einmalige Applikation einer Lösung von 1% « Sequestrene NaFe » eine Reduktion der Chlorose um die Hälfte, eine Lösung von 0,5% eine solche von ca. 1/3 innerhalb von 3 1/2 Monaten bei gleichzeitigem Anstieg der Befalls-Stärke um das Dreifache in der unbehandelten Parzelle. Die Besserung hielt jedoch nur während einer Vegetationsperiode an, und die Behandlungen mussten im folgenden Jahr wiederholt werden.

Die Ergrünung der chlorotischen Blätter zeigt sich bei der Blattbespritzung sehr rasch, indem bereits nach 8 Tagen auf den gelben Blattspreiten einzelne, unregelmässig begrenzte Flecken, hauptsächlich dem Hauptnerv entlang erscheinen. Ihre Zahl und Grösse nimmt anschliessend rasch zu. Bei einer einmaligen Behandlung ergrünern die behandelten Blätter jedoch nie vollständig, sondern bleiben mehr oder weniger gefleckt.

In einem weiteren Versuch wurden 2 Birnen-Hochstämme mit starker Chlorose wie folgt bespritzt :

22.5.54 : 0.5% « Sequestrene NaFe »

3.7.54 : 0.5% « Sequestrene NaFe »

16.5.55 : 0.5% Chel 330 HFe

Bei beiden Bäumen liessen wir je einen Ast, geschützt durch eine Abschirmung, unbehandelt. Während 1954 beide Bäume stark ergrünnten, blieben die beiden unbehandelten Aeste gelb. Auch die nach der 2. Behandlung noch hinzugewachsenen jungen Blätter blieben chlorotisch. Der gleiche Zustand konnte auch beim Austrieb im Frühjahr 1955 beobachtet werden. Erst im Laufe des Monats Juni 55 ergrünten die unbehandelten Partien allmählich und 1 Jahr später, im Mai 1956, unterschieden sie sich nicht mehr von ihrer Umgebung. Diese Beobachtung und auch die immer wieder gemachte Feststellung, dass alle nach einer Bespritzung nachwachsenden Blätter während langer Zeit chlorotisch bleiben, lässt darauf

schliessen, dass ein Transport des durch die Blätter aufgenommenen Fe, bzw. der Fe-Chelat-Moleküle, in andere Blätter nur sehr langsam vor sich geht.

Der Anwendung in Form der Blatt-Bespritzungen sind gewisse Grenzen gesetzt. Einerseits verursachen die Chelate « Sequestrene NaFe » und Chel 330 HFe, angewandt als 0.5-1.0 % — ige Spritzlösungen, an chlorotischen Blättern sehr starke Verbrennungen, andererseits ist die Wirkungsdauer von Blattsprays entsprechend der kleinen Menge Chelat, die auf den Blättern haften bleibt, kurz. Die *Behandlung des Bodens* gestattet bei einmaliger Applikation die Zufuhr jeder beliebigen Menge.

Ein *Vergleich beider Methoden* erfolgte an einem Birnenspalier (vgl. Tab. 5). Die Blattbespritzung hatte keine nennenswerte Korrektur der Chlorose zur Folge. Chel 330 HFe und « Sequestrene NaFe » führten dagegen bei der Behandlung des Bodens zu einem gewissen positiven Ergebnis, was aus der Pauschalbeurteilung im folgenden Frühjahr hervorgeht. Die applizierten Chelate konnten sich allerdings nicht mehr voll auswirken, da der Zeitpunkt der Applikation (vgl. Tab. 8) auf ein spätes Datum fiel.

Mit beiden Applikations-Methoden stellte sich für FeSO_4 trotz höherem Fe-Gehalt keine erkennbare Wirkung ein (26).

Im Gegensatz zur fleckenartigen Ergrünung bei Blattbespritzungen, die bereits nach wenigen Tagen beginnt, bildet sich auf dem Blatt 4-6 Wochen nach einer Bodenbehandlung mit Chel 330 HFe und « Sequestrene NaFe » eine feine, gleichmässige Sprengelung, die oft nur im durchscheinenden Licht erkennbar ist und langsam in eine homogene Ergrünung übergeht.

TABELLE 5

Vergleich der Wirkung von Chelaten mit jener von FeSO_4 . ϕ -Werte von 8-10 3-jährigen Birnbäumen auf Quitte A. Behandlung am 28.7.54

Parzelle	Applikations-Methode	Konzentration bzw. g/Baum	g Fe/Baum	Reduktion der Chlorose innert 6 Wochen, ausgedrückt in Abnahme d. % -Satzes d. chloro- tischen Blätter	Chlorose- zahl der Parzellen im Mai 55
Sequestrene NaFe	Spritzen Giessen mit 5 l Wasser/Baum	0.5 % 10 g	0.2-0.4 1	—17 —38	3.5-4.0 2-3
Chel 330 HFe	Spritzen Giessen mit 5 l Wasser/Baum	0.5 % 10 g	0.2-0.4 0.9	—7 —46	3.5-4.0 2-3
Fe SO_4	Spritzen Giessen mit 5 l Wasser/Baum	0.13 % 10 g	0.25-0.48 3.7	—11 —7	3.5-4.0 3.5-4.0
Unben »	—	—	—	—8 —5	3.5-4.0 3.5-4.0

Der Einfluss der applizierten Chelatmenge geht aus den in Tab. 6 zusammengestellten Versuchen hervor.

TABELLE 6

Wirkung von « Sequestrene NaFe » bei Bodenapplikation
Beurré Hardy - Bäume, 5-jährig.
Behandlung am 22.5.54, Giessen mit 5 l Wasser/Baum.

Parzelle	g Fe/ Baum	Anzahl Bäume	Chlorosezahl (Ø aller Bäume)					
			22.5.54	16.6.54	13.9.54	Mai 55	Sept. 55	Mai 56
Sequestrene NaFe 10 g/Baum	1	4	2.0	erste leichte	1.0	2.8	3.0	2.3
Sequestrene NaFe 40 g/Baum	4	2	2.0	Ergrünung sichtbar	0	1.0	1.0	1.43
Unbeh.	—	4	2.0		2.0	3.8	4.0	2.8

An den 5-jährigen Birnenspalierbäumen hielt die Wirkung von 10 g « Sequestrene NaFe » (1 g Fe) nur für wenige Monate an, 40 g (4 g Fe) dagegen bewirkten eine beinahe vollständige Korrektur während 2 Jahren. Damit wird klar, dass eine einmalige Bespritzung, bei der an einem entsprechenden Baum cal. 2-3 Spritzbrühe (= 1 — 1,5 g Fe bei 0,5 % « Sequestrene NaFe » — Lösung) haften bleiben, für einen länger dauernden Erfolg nicht genügen kann. Im angenommenen Fall sind für eine 2 Jahre dauernende Besserung 3-4 Behandlungen nötig. Wird die Konzentration, um den phytotoxischen Effekten auszuweichen, auf 0,1 % gesenkt, so muss die Zahl der Behandlungen auf ein Vielfaches erhöht werden.

Während wir bei einer Erhöhung der applizierten Menge/Baum von 10 auf 40 g einen wesentlichen Anstieg der Wirkung feststellen konnten, hatte eine weitere Erhöhung von 40 auf 60 g bei den gleichen Bäumen (vgl. Tab. 8) keinen Einfluss mehr. Wir beobachteten im Gegenteil bei beiden Präparaten mit 40 g/Baum eine eindeutig bessere Wirkung. Es scheint, dass mit 60 g/Baum eine optimale Wirkungsschwelle für die betreffenden Bäume bereits überschritten ist. Welche Reaktion bei Ueberdosierung zu einem Wirkungsabbau, bzw. zu einem Stillstand des vorher erfolgten Anstieges führt, bleibt noch abzuklären.

Neben dem Ort der Applikation spielt besonders bei der Anwendung im Boden auch die *Applikationsmethode* eine entscheidende Rolle (Tab. 7). Werden gleiche Mengen Chel 330 HFe bzw. « Sequestrene NaFe » in Wasser gelöst appliziert, so erhalten wir mit beiden Präparaten gute Resultate. Im Gegensatz dazu bewirken gleiche Mengen nur eine geringe Korrektur der Chlorose, wenn die Präparate mit Sand vermischt ausgestreut und dann eingehackt werden. Zwei Gründe können als Ursache dieses Wirkungsunterschiedes angesehen werden : einerseits bleibt ein beträchtlicher Teil der Chelate beim Streuen im Bereich des Tageslichtes liegen und ist eventuell einer gewissen lichtbedingten Zersetzung ausgesetzt 10) ;

TABELLE 7
Wirkung verschiedener Chelate bei Bodenapplikation. 6-jährige Birnbäume, Sorte Beurré Hardy
auf Quite A. Behandlung am 11.6.55

Parzelle	g/ Baum	An- zahl Bäume	Applikations- methode	10.6.55		26.8.55		18.5.56	
				Anzahl Blätter an mar- kierten Zweigen	Ø Chlo- rose- zahl/ Blatt	Anzahl Blätter an mar- kierten Zweigen	Ø Chlo- rose- zahl/ Blatt	Anzahl Blätter an mar- kierten Zweigen	Ø Chlo- rose- zahl/ Blatt
«Sequestrene NaFe» .	30	3.0	3 Giessen mit 5 l.	350	2.82	671	1.04	—63.1	+91.8
Chel 330 HFe.....	30	2.67	3 Wasser/Baum	361	2.90	422	1.75	—39.5	+16.9
«Sequestrene NaFe» .	30	3.0	4 Streuen mit Sand	438	3.01	470	3.13	+ 4.0	+ 7.3
Chel 330 HFe.....	30	2.67	3 Einhacken	330	3.17	383	2.99	— 5.7	+16.1
Unbehandelt	—	—	3	338	2.28	320	2.87	+25.9	— 5.3

andererseits ist in Betracht zu ziehen, dass beim Giessen die Präparate jedenfalls sofort in den Bereich der Wurzeln gelangen, beim Streuen jedoch in einem weiteren Bereich verteilt liegen bleiben und, wie schon erwähnt, vom Ton adsorbiert werden können.

Der in Tab. 7 dargestellte Versuch lässt ferner erkennen, dass «*Sequestrene NaFe*» unter den beschriebenen Verhältnissen in Pfeffingen schneller wirkt als Chel 330 HFe. Diese Feststellung wird auch durch die Berücksichtigung des Blattzuwachses bestätigt. Im folgenden Frühjahr unterschied sich die Wirkung der beiden Präparate nicht mehr stark. Dieses Resultat steht im Gegensatz zu den Erfahrungen in den USA, wo, allerdings an Citrusbäumen in kalkhaltigen Tonböden Chel 330 HFe besser abschnitt. Die Ursachen dieser Differenz können einerseits in den unterschiedlichen Versuchspflanzen, andererseits in weiteren Bodenunterschieden liegen.

Im Gegensatz zu der in Versuch Tab. 7 noch in der gleichen Vegetationsperiode eintretenden intensiven Wirkung, ist aus Tab. 8 ersichtlich, dass der *Zeitpunkt der Behandlung* die Wirkung beeinflusst und bei später Applikation (5.7.55), am Ende der Hauptwachstumsperiode, der Erfolg vorerst trotz stark erhöhten Mengen nur gering ist. (Eine Kontrolle im September ergab die gleichen Resultate wie sie Ende August festgestellt wurden). Die Wirkung steigt jedoch zu Beginn der folgenden Vegetationsperiode beträchtlich an, wobei sich beide Präparate nicht unterscheiden. Mit der Kontrolle im Mai 56 steht aber das endgültige Resultat noch nicht fest, denn es hat sich gezeigt, dass bei leichter bis mittelschwerer Erkrankung die Bäume nach der Winterruhe beim Austrieb immer besser aussehen als am Ende der Vegetationsperiode. Während der Zeit des intensivsten Wachstums tritt die Chlorose wieder vermehrt zu Tage, und befällt die Bäume mit zunehmender Intensität.

TABELLE 8

Wirkung verschiedener Chelate bei Bodenapplikation. 5-jährige Birnbäume, Sorte Beurré Hardy auf Quitte A. Behandlung 5.7.55.
Appl. Methode : Streuen mit Sand vermischt, Einhacken.

Parzelle	g/ Baum	g Fe/ Baum	An- zahl Bäu- me	5.7.55		26.8.55				18.5.56			
				An- zahl Blät- ter	Ø Chlo- rose- zahl/ Blatt	An- zahl Blät- ter	Ø Chlo- rose- zahl/ Blatt	% Ab- nahme d. Chlo- rose	% Blatt- zu- wachs	An- zahl Blät- ter	Ø Chlo- rose- zahl/ Blatt	% Ab- nahme der Chlo- rose	% Blatt- zu- wachs
<i>Sequestrene</i> <i>NaFe</i>	40	4	3	141	3.19	268	2.39	-25.1	+90.1	790	0.74	-76.9	+461
	60	6	4	321	3.39	343	2.54	-25.1	+ 6.9	674	1.33	-60.8	+110
<i>Chel</i> <i>330 HFe</i>	40	3.6	3	150	2.66	282	1.94	-27.1	+88.1	554	0.72	-73.0	+270
unbeh.	60	5.4	4	200	3.50	281	3.12	-10.8	+40.5	610	1.07	-69.5	+205
	—	—	3	168	3.36	182	3.86	+14.9	+ 8.3	294	2.99	-11.0	+ 75

Schliesslich sei noch auf einen Versuch hingewiesen, der ebenfalls noch nicht abgeschlossen ist, aber demonstriert (Tab. 9), dass die Behandlung der Bäume im Herbst zu keinem besseren Ergebnis führt als eine Applikation im Frühjahr.

TABELLE 9

Wirkung der Chelate bei Applikation im Herbst. 3-jährige Birnbäume auf Quitt A. Behandlung am 1.9.55. Appl. — Methode: Düngerlanze, 40 att, 20 l Lösung/Baum.

Parzelle	Konz.	g Fe/ Baum	Anzahl Bäume	Chlorosezahl/Blatt (Ø von 100 Blättern)		Abnahme der Chlorose in %
				1.9.55	2.6.56	
Chel 330 HFe	0.2	1.8	17	2.52	0.62	-75.5
Chel 138 H (Säure)	0.2	0	9	1.87	0.42	-77.6
Unbehandelt	—	—	8	2.02	1.22	-39.8

Aus den verschiedenen Versuchen resultiert, dass unter den in Pfeffingen herrschenden Bedingungen sowohl mit Fe — EDTA wie mit Fe — DTPA die Eisenchlorose an Birnbäumen behoben werden kann. Wie wir eingangs erwähnten, waren die Versuche nicht an allen Orten und in allen Kulturen so positiv, so dass die Forschung nach Chelaten, die auch in sauren Böden und in stark kalkhaltigen, alkalischen Tonböden zur Wirkung kommen, ausgedehnt werden muss. Vom chemischen Standpunkt aus scheint dabei entscheidend zu sein, dass sie möglichst stabil sind und möglichst geringe Tendenz zeigen, im Boden zu dissoziieren und Hydroxylionen zu binden (15). In Verfolgung dieser Arbeitsrichtung wurden Versuche aufgenommen mit Ferrikomplexverbindungen von aromatischen Amino-polycarboxylsäuren. Neben der in den USA schon auf breiter Basis getesteten Substanz Chel 138 HFe, kamen zwei weitere Präparate RA 157 und RA 159 in Prüfung. Nach Wallace *et al.* (30) zeigt Chel 138 HFe eine grössere Stabilität in kalkhaltigen Böden als alle bisher geprüften Chelate, und wird vom Ton auch nicht in merklichen Mengen adsorbiert.

Die ersten Resultate von Versuchen, die wir im Frühjahr 1956 wiederum in Pfeffingen an Birnen durchführten, sind in Tab. 10 enthalten.

Gegenüber den beiden Präparaten Fe-EDTA und Fe-DTPA zeichneten sich Chel 138 HFe und RA 157 durch rascheren Wirkungseintritt aus. Zudem konnten wir feststellen, dass an den stark chlorotischen Bäumen, an deren Zweigen die Blätter verkümmerten und ihr Wachstum eingestellt hatten, durch die Behandlung mit diesen beiden Präparaten aus Adventivknospen in kurzer Zeit neue, grüne Triebe entstanden, was wir bisher bei keiner andern Behandlung beobachteten. Sollten sich die gefundenen Resultate auch unter andern Bedingungen bestätigen, so eröffnen die neuen Präparate bessere Verwendungsmöglichkeiten und es dürfte sich jedenfalls lohnen, diese auch unter europäischen Verhältnissen zu studieren.

Die Wirkung dieser nicht-dissoziierenden Fe-Komplexverbindungen wirft natürlich die Frage auf, wie das Eisen von der Wurzel aufgenom-

TABELLE 10 : Wirkung verschiedener Chelate bei Bodenapplikation. 7-jährige Birnbäume, Beurré Hardy auf Quitte A. Behandlung : 18.5.1956
 Applikations-Methode : Streuen mit Sand vermischt, Einhaken. Einschwemmen durch unmittelbar nachfolgenden Niederschlag von
 32 mm in 24 Std.

Parzelle	g/Fe Baum	Anzahl Bäume	18.5.56 (Vor der Behandlung)			Kontrolle am 1.6.56 Ver. 14 Tg			18.6.56 Ver. 30 Tg			18.7.56 Ver. 47 Tg				
			Z	ϕ C	AB %	18.5.56 (Vor der Behandlung)			Z	ϕ C	AB %	ZU %	Z	ϕ C	AB %	
						Z	ϕ C	AB %					Z	ϕ C	AB %	
Chel 138 HFe	10	7.5	6	947	2,35	1.084	1,28	-45,6 -43,1 -21,2 -31,2 -1,6	1.094	1,02	-56,6 -66,5 -34,2 -50,2 3,20	15,5 12,16*	1,164	0,74	-60,5 -71,3 -39,2 -67,0 3,17	+22,9 +37,6 +29,5 +29,7 +32,3
RA 157	10	7.2	6	890	2,65	1.216	1,51	-45,6 -43,1 -21,2 -31,2 -1,6	1.273	0,89	-66,5 -43,1 -22,5 -23,6 +2,2	1,216*	0,76	1,35	-71,3 -39,2 -67,0 +1,2	+37,6 +29,5 +29,7 +32,3
RA 159	20	7,2	6	1.156	2,22	1.383	1,75	-45,6 -43,1 -21,2 -31,2 -1,6	1.416	1,46	-34,2 -22,5 -1,027	1,498	1,027	0,78	-71,3 -39,2 -67,0 +1,2	+37,6 +29,5 +29,7 +32,3
Chel 330 HFe	60	5,3	4	792	2,37	906	1,63	-31,2 -14,4 979	979	1,18	-50,2 -23,6 460	1,027	0,78	-71,3 -39,2 -67,0 +1,2	+37,6 +29,5 +29,7 +32,3	
Unbeh.	—	—	4	353	3,13	372	3,08	—	460	3,20	—	3,17	—	—	—	
Parzelle	g/Fe Baum	Anzahl Bäume	18.5.56 (Vor der Behandlung)			Kontrolle am 9.8.56 Ver. 83 Tg			18.9.56 Ver. 123 Tg			18.9.56 Ver. 123 Tg				
Chel 138 HFe	10	7.5	6	947	2,35	1.257	0,41	-82,6 -83,6 -49,1 -81,4 —	1.222	0,48	-79,6 -79,6 -17,2 -17,2 —	1,164	0,54	-79,6 -79,6 -17,2 -17,2 —	+29,1 +55,2 +35,1 +35,1 —	
RA 157	10	7,2	6	890	2,65	1.435	0,17	-82,6 -61,3 -36,7 -43,6 —	1.381	0,54	-79,6 -79,6 -17,2 -17,2 —	1,216*	1,35	-79,6 -79,6 -17,2 -17,2 —	+29,1 +55,2 +35,1 +35,1 —	
RA 159	20	7,2	6	1.156	2,22	1.531	1,13	-82,6 -61,3 -36,7 -43,6 —	1.562	1,84	-79,6 -79,6 -17,2 -17,2 —	1,498	1,086	-79,6 -79,6 -17,2 -17,2 —	+29,1 +55,2 +35,1 +35,1 —	
Chel 330 HFe	60	5,3	4	792	2,37	1.135	0,44	-81,4 —	1.086	0,67	-71,7 —	1,436	0,67	-71,7 —	+29,1 +55,2 +35,1 +35,1 —	
Unbeh.	—	—	4	353	3,13	521	2,98	—	269	3,28	—	4,7	—	4,8	+29,1 +55,2 +35,1 +35,1 —	

Légende : Z = Anzahl Blätter.
 ϕ C = ϕ Chlorose-Zahl pro Blatt.
 Ver. = Veränderung.

AB = Abnahme der Chlorose in %.
 ZU = Blattzuwachs in %.

men wird, d. h., ob das Eisenion allein oder das ganze Chelatmolekül von der Wurzel adsorbiert wird. Aus den Untersuchungen von *Wallace & North* (31) mit Fe — EDTA und *Kroll et al.* (15) mit Chel 138 HFe, deren Säuren mit C¹⁴ markiert waren, muss angenommen werden, dass das Eisenchelat als ganzes durch die Wurzel aufgenommen und in die Blätter transportiert wird. Der Vorgang, wie diese Chelate in der pflanzlichen Zelle das Eisen abgeben, und sein Einbau in ein Enzym-system möglich ist, konnte bis jetzt noch nicht abgeklärt werden. Damit diese Chelate im sauren Medium des Pflanzensaftes, wo sie jedenfalls stabil sind, das Eisen freigeben, ist sicher eine chemische Umwandlung notwendig. Dies ist auch eine Voraussetzung dafür, dass diese chelierenden Substanzen nicht als solche im Pflanzensaft bleiben und dadurch den übrigen Mineralstoffwechsel beeinflussen.

Wenn heute angenommen wird, dass die Kationen-und Anionen-Absorption der Pflanze durch Chelatkomplexe erfolgt, so scheint gerade ihre Anwendung zur Behebung von Mangelerscheinungen und die Untersuchung über das Verhalten der Chelate in der Pflanze, neue Möglichkeiten einer eingehenden Erforschung des Mineralstoffwechsels zu bieten. Dabei brauchen die Untersuchungen nicht auf Eisen beschränkt zu bleiben, da heute auch eine Reihe anderer Metallchelate zur Verfügung stehen.

SUMMARY

At the Geigy Experimental Farm treatments with several iron chelates on pear trees suffering from lime induced iron chlorosis were effective, while an application of FeSO₄ was ineffective.

Foliage applications with Fe — EDTA and Chel 330 HFe at chlorotic plants have to be repeated several times before a curative effect is reached. Concentrations of 0.2 % or lower do not cause any phytotoxic reactions. A foliage treatment reacts with a greening effect in and for a shorter time than a soil treatment does.

An amount of 40 grams of Fe — EDTA or Chel 330 HFe is capable to correct the iron chlorosis of a 5 year old pear tree for 1 to 2 years. The soil application of a chelate with water is superior to dry dusting of the soil round the tree. The best time for a curative treatment is May to June, the time of the main growth. Treatments later in the season show their effect in the following year only.

Chel 138 and RA 157 (iron complexes of aromatic amino-poly-carboxylic-acids) show a good activity when applied to the soil and are able to stimulate the growth of twigs, damaged due to iron chlorosis.

LITERATURVERZEICHNIS

1. ALEXANDER, C. C. et WALSH, D. New chemical agent makes possible complete control of iron chlorosis. *Agr. Chem.*, 7, 36-38, 1952.

2. ANTognini, J. Iron chelates control iron chlorosis. *Agr. Chem.*, 9, 47-49, 1954.
3. BEAR, F. E. Iron chelates in agriculture. *Agr. Chem.*, 10, 34-35, 1955.
4. BONNER, W. D. The effect of Sequestrene on the cytochrome system. *Plant Physiol.*, 30, «Supplement», XXIX, 1955.
5. BOULD, C. Chelated Iron compounds for the correction of lime-induced chlorosis in fruitgardens. *Nature*, 175, 90-91, 1955.
6. BROWN, J. C. and HOLMES, R. S. Iron, the limiting element in a chlorosis. *Plant Physiology*, 30, 451-462, 1955.
7. FORD, H. W. Root distribution of chlorotic and iron-chelate treated Citrus trees. *Proc. Florida State Hort. Soc.*, 3-5, 1954.
8. HAERTL, E. J. New horizons in the application of chelation to agriculture. *Down to Earth*, 2, 6-9, 1955.
9. HAERTL, E. J. and MARTELL, A. E. Metal Chelates in plant and animal nutrition. *J. Agr. Food. Chem.*, 4, 26-32, 1956.
10. HILL-COTTINGHAM, D. G. Photosensitivity of iron chelates. *Nature*, 175, 347-348, 1955.
11. HOLMES, R. S. & BROWN, J. C. Chelates as correctives for chlorosis. *Soil Sci.*, 80, 167-179, 1955.
12. JACOBSON, L. Maintenance of iron supply in nutrient solution by a single addition of ferric potassium ethylenediamine tetraacetate. *Plant Physiol.*, 26, 411-413, 1951.
13. JENNY, H. Mineral nutrition of plants. The University of Wisconsin Press, 107-131, 1953.
14. KLINE, H. C. Trace elements reclaiming acres with Ounces. *J. Agr. Food Chem.*, 2, 404-408, 1954.
15. KROLL, H., KUYKENDALL, J. R. & POWERS, J. A. Some aspects of the treatment of iron deficiencies in plants with chelating agents. Rep. 1955, in press.
16. KUYKENDALL, J. R. Recent information on chlorosis control. Paper for the meeting of the Colorado Nurserymen's Assoc., feb. 16, 1956.
17. LAFON, R. et COUILLAUD, Maladies et parasites de la vigne. Bailliére, édit., Paris, 1955.
18. LOCKE, L. F. Chlorosis experiments. *Proc. Amer. Soc. Sci.*, 61, 77-83, 1953.
19. LUNDEGÅRDH, H. Die Blattanalyse. Verl. G. Fischer, Jena, 1945.
20. LUNT, O. R., HEMAIDON, N. & WALLACE, A. Some reactions of polyamine-polyacete chelating agents in various soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 19, 1955.
21. LUNT, O. R. & WALLACE, A. Use of iron chelates. *Calif. Agric.*, 9, 4, 1955.
22. MC CAULIFF, E. Chelates in plant nutrition. *Agr. Chem.*, 9, Nr. 12, 55, 109, 111, 1954.
23. PERKIN, H. F. & PURVIS, E. R. Soil and plant studies with chelates of ethylenediaminetetraacetic acid. *Soil Sci.*, 78, 325-330, 1953.
24. PORTER, L. K. & THORNE, D. W. Interrelation of carbon dioxide and bicarbonate ions in causing plant chlorosis. *Soil Sci.*, 79, 373-382, 1955.
25. PRIOTON, H. La chlorose. Imp. Tisserand, Bordeaux, 1934.
26. STEWART, J. & LEONARD, C. D. Iron chlorosis - its possible causes and control. *Citrus Magazine*, 14, 22, 1952.
27. STEWART, J. & LEONARD, C. D. Chelated metals for growing plants. Childers, N. F., ed. *Mineral Nutrition of fruit crops*. 16, Hort. Publ. New Brunswick, N. J., 1954.
28. VIDAL, J. L. Amélioration du badigeonnage Rasségnier. *Progrès agr. et vit.*, 1936.
29. WALLACE, A., NORTH, C. P., MUELLER, R. T., SHANNON, L. M. & HEMAIDAN, N. Behaviour of chelating agents in plants. *Proc. Amer. Hort. Sci.*, 65, 1955, 9-16.
30. WALLACE, A., MUELLER, R. T., LUNT, O. R., ASHCROFT, R. T. & SHANNON, L. M. Comparisons of five chelating agents in soils, in nutrient solutions, and in plant responses. *Soil Sci.*, 80, 101-108, 1955.
31. WALLACE, A. & NORTH, C. P. Lime induced chlorosis - chelating agents a possible means of control in Citrus, Avocado and other Subtropicals. *Calif. Agr.*, 7, 10, 1953.
32. WALLACE, A., NORTH, C. P., KOFRANEK, A. M. & LUNT, O. R. Chlorosis in ornamentals. *Calif. Agric.*, 7, 13-14, 1953.

33. WALLIHAN, E. F. Relation of chlorosis to concentration of iron in Citrus leaves. Amer. Journ. Bot., 42, 101-104, 1955.
34. WEINSTEIN, L. H., PURVIS, E. R., MEISS, A. N. et UHLER, R. L. Absorption and translocation of ethylenediaminetetraacetic acid by sunflower plants. J. Agr. Food. Chem., 2, 421-425, 1954.
35. WEINSTEIN, L. H., ROBBINS, W. R. & PERKINS, H. F. Chelating agents and plant nutrition. Science, 120, 41-43, 1954.
36. WELLS, J. S. Iron Sequestrene in the treatment of chlorosis. Amer. Nurseryman, 98, 57-59, 1953.
37. WESTGATE, P. J. Preliminary report on chelated iron for vegetables and ornamentals. Proc. Soil Sci. Soc. of Fa, 1952.
38. WESTGATE, P. J. & WRIGHT, J. D. Chelated iron as soil and foliar applications for vegetables and ornamentals. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 1954.

DISCUSSION

DUMAS (IFAC, Paris). — *L'auteur a-t-il suivi par l'analyse les modifications apportées par les traitements aux teneurs en P minéral et organique dans les racines et les feuilles ?*

GASSER. — Non.

CHABANNES (INRA, Versailles). — *Demande des explications sur le mode de pulvérisation ou d'atomisation des produits utilisés ainsi que l'emploi de mouillants.*

R. — L'application des chélates est possible en ajoutant ces produits aux bouillies insecticides et fongicides. Dans nos essais nous n'avons pas ajouté un mouillant.

Dr. BOULD (L. A. R. S. Bristol-England). — *We found in our field experiments with pear that surface applications of iron chelates, unless heavily watered-in, were not effective. Complete control of chlorosis, for two seasons at least, were obtained by surface applications of 20 g of Fe as Fe-EDTA, Fe-DTPA, or Fe-HEEDTA followed by heavy watering. Equally good results were obtained by sub-soil injections of 10 g Fe. — Laboratory studies showed that the iron chelates of the three compounds mentionned above are not stable in calcareous soils, the iron being rapidly replaced by calcium. Fe-CDTA and Fe 138 are sorbed to a less extent and are more stable.*

R. — In years with little rain all a heavy watering-in is necessary. The laboratory results of Dr. Bould with chel 138 HFe correspond with our field experiences.

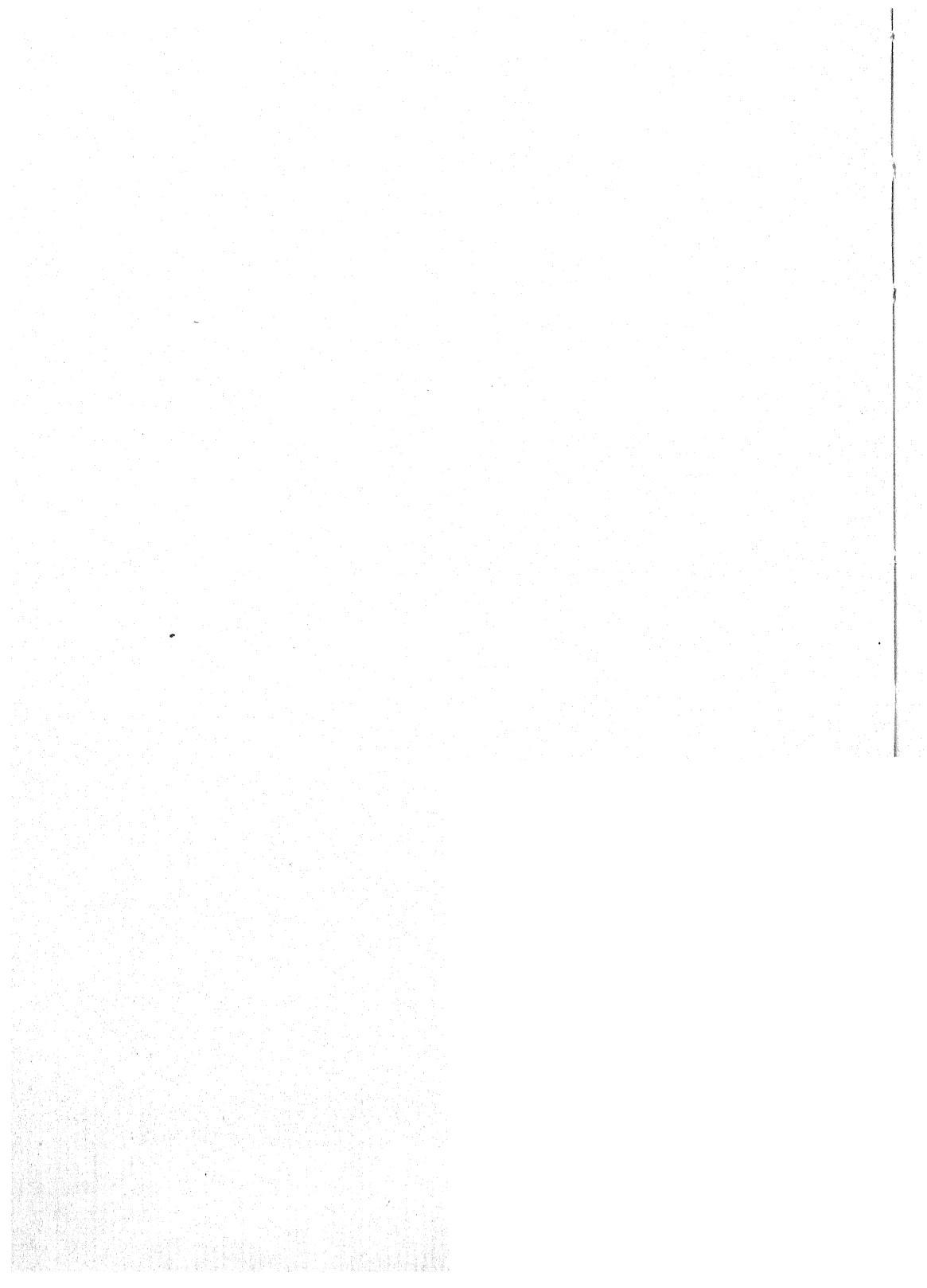
Le Dr COOK signale la nécessité de laver les chélates dans le sol pour qu'ils deviennent efficaces.

R. — Il est important que les chélates soient transportés rapidement dans la région des racines.

CLARK à BOULD. — *(Dans sa précédente intervention Bould avait souligné la nécessité de tenir compte, dans l'analyse du Fe des feuilles, du Fe restant sur les feuilles et préconisé le lavage des feuilles au détergent).*

Question : Détergent utilisé ?

R. — Le teepol-lavage très rapide.



TROISIÈME PARTIE

ANALYSE DU SOL ET DE LA PLANTE

Soil copper status and plant uptake

by

R. L. MITCHELL, J. W. S. REITH and Isabel M. JOHNSTON

The Macaulay Institute for Soil Research, Craigiebuckler, Aberdeen,
Scotland

Copper is essential for both plants and animals and there is a voluminous literature dealing with its biological roles which it is impossible to review here ; reference may be made to the Symposium on Copper Metabolism edited by McElroy and Glass (1950). In Scotland the occurrence of swayback in sheep has long been recognized and other animal disorders related to copper metabolism have been reported. The definite diagnosis of copper deficiency in Scottish crops is of more recent date ; it is now realized that blind-ear in oats attributable to this cause is not uncommon. This disorder occurs on mineral soils in parts of the north-east of Scotland. Its main characteristic is a poor yield of grain, there being, except in cases of severe deficiency, no visible symptoms until the crop reaches maturity. In severe cases the edges of the leaves may be light green to pale yellow in colour and a portion of the tips of the leaves may be almost colourless. These symptoms resemble those of white-tip disease as originally described by Danish workers. In general the crop grows quite satisfactorily until it approaches maturity. At this stage ripening is delayed, a number of the kernels fail to develop (i. e. the ear is blind or empty) and secondary growths are produced. The straw of affected crops never assumes the normal yellow colour but remains grey to bluish-green. Although these effects normally appear only in small isolated areas throughout a field, experience has shown that the grain yield of the whole crop is likely to be reduced.

There have been numerous attempts to correlate soil copper content with the content of plants, but these have generally been confined to specific soil types of rather local interest. No method of general applicability has been reported. Swaine (1955) has compiled a comprehensive bibliography including some 100 references dealing with the copper content of soils, and a few more recent references are quoted below.

Because of the occurrence of both plant and animal problems, a comprehensive study of the relationship between soil copper content and plant uptake has been initiated, and this communication summarizes the findings to date. These include results obtained over a period of five years

from an area in Aberdeenshire where blind-ear in oats is prevalent, together with results for analyses of typical soils and plants from areas of quite different soil parent materials throughout the north-east of Scotland.

The copper determinations have been made spectrochemically. The arc excitation technique described by Farmer (1950) was used for plant materials, while soil extracts were analysed by the porous cup solution spark technique described by Mitchell and Scott (1957). Total copper in soils was determined by a modification of the Farmer method, using soil base standards instead of plant ash base. All analytical determinations, for both soils and plants, are means of concordant analytical duplicates.

THE EFFECT OF COPPER TREATMENT ON PLANT UPTAKE

The relative uptake of pasture herbage and cereal species has been studied on a copper deficient soil on Old Red Sandstone boulder clay. On this soil-type blind-ear of oats is common. In one series of plots, laid down in 1951, copper dressings were applied at rates of 20 and 60 pounds copper sulphate ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) per acre (5 and 15 lbs. Cu per acre or approximately 2.5 and 7.5. p.p.m. to the surface 9 inches). 20 pounds per acre is approximately 22 kilograms per hectare. After two crops of oats, mixed pasture herbage was sampled in 1953, 1954 and 1955. In an adjacent series, the copper was not applied until March 1953, as a top dressing. The copper contents of the mixed herbages and two constituent species are reported in Table 1 which also includes mean results from parallel series of limed plots. The pH of the unlimed soil was 5.4 and rose to 6.0 after liming.

The points which emerge from Table 1 include the enduring effect of a single copper application, the marked difference in response between rye grass and clover, the limited effect of lime, and the higher plant contents in August or September compared with June. In moorland species a progressive fall in copper content of the whole plant throughout the growing season has been observed (Mitchell 1954). Similarly Wells (1956) reports a progressive fall in copper content of *Anthoxanthum odoratum* L. from 5.4. p.p.m. when the flowerhead is sheathed to 2.4 when the seed is formed and to 1.6 when the stem is brown and bent. The difference in behaviour observed here may be explained by the fact that in the experiments now reported the herbage was cut for hay after the first sampling and not allowed to grow to maturity, the second sampling being new growth. Lime is seen to have little effect on the copper uptake of plants growing on the copper treated plots, but reduces the copper content of all samples on the no-copper soils. The marked increase in the copper content of red clover compared with that of rye grass is of considerable significance to the present investigation. This effect can be observed even more clearly in Table 2 where, from another series of plots on the same farm, clover is compared with 4 different species of grasses. Clover shows a five-fold increase in content, compared with a rise of no more than 30% in the grasses. The mixed pasture herbage

TABLE 1

Copper contents of mixed pasture herbage and constituent species (as parts per million in dry matter) from unlimed plots on a copper deficient soil, after copper treatments in 1951 or 1953, with mean values for corresponding limed plots.

Species	Dressing in lb./acre $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ Applied April 1951	Date of Sampling						June Mean	
		1953		1954		1955		Unli-med	Li-med
		June	August	June	August	June	Sept-ember		
Mixed Pasture Herbage	0	4.1	4.3	3.9	7.4	3.7	5.3	3.9	3.3
	20	3.7	6.2	5.7	10.4	4.0	10.8	4.5	3.6
	60	4.7	7.2	4.2	9.3	5.4	8.2	4.8	5.2
Rye Grass (<i>Lolium perenne</i> L.)	0	4.0	5.0	3.6	5.4	3.3		3.6	2.8
	20	3.2	4.1	4.1	5.7	3.2		3.5	3.7
	60	4.6	—	3.8	5.9	3.2		3.8	3.7
Red Clover (<i>Trifolium pratense</i> L.)	0	3.1	3.8	3.3	4.4	1.8	5.1	2.7	2.0
	20	6.8	5.6	5.1	8.9	3.2	7.4	5.0	3.9
	60	6.2	6.8	7.0	10.0	3.8	9.4	5.7	5.5
Applied March 1953									
Mixed Pasture Herbage	0	5.4	7.2	4.4	7.3	4.6	5.0	4.8	3.7
	20	4.1	8.3	5.3	8.1	4.3	5.0	4.6	4.6
	60	5.2	7.5	5.6	11.4	4.9	7.1	5.2	5.5
Rye Grass (<i>Lolium perenne</i> L.)	0	3.2	6.2	3.9	4.5	3.3		3.5	3.2
	20	3.9	4.9	3.9	5.4	3.5		3.8	3.7
	60	5.9	5.1	3.9	5.7	3.3		4.4	4.5
Red Clover (<i>Trifolium pratense</i> L.)	0	3.4	—	3.4	4.6	2.4	6.0	3.1	2.9
	20	6.7	7.2	6.6	9.7	3.6	9.4	5.6	7.0
	60	9.6	7.8	7.9	12.4	6.0	11.4	7.8	7.7

TABLE 2

Copper contents of mixed pasture herbage and constituent species (as parts per million in dry matter) from duplicate series of replicated plots top dressed with 20 lb. per acre $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ in April 1954 and again in April 1955 and sampled in June 1955.

	Untreated	Copper Treated	Mean increase
Mixed Pasture Herbage	3.4 ; 2.8	5.6 ; 6.6	97 %
Rye Grass (<i>Lolium perenne</i> L.)	2.4 ; 2.7	3.2 ; 3.3	28 %
Red Clover (<i>Trifolium pratense</i> L.)	1.4 ; 1.3	7.8 ; 8.4	500 %
Cocksfoot (<i>Dactylis glomerata</i> L.)	3.5 ; 2.8	4.0 ; 4.1	29 %
Crested Dogstail (<i>Cynosurus cristatus</i> L.)	2.8 ; 2.9	3.7 ; 3.8	32 %
Timothy (<i>Phleum pratense</i> L.)	2.7 ; 2.7	3.4 ; 3.4	26 %

shows a 100 % increase, corresponding to a content of about 20 % clover in the mixed herbage. At low soil copper levels, the grasses contain more copper than the clover, with abundant copper the reverse is the case. In Table 1 and in other results quoted later, it will be noted that the mixed pasture herbage copper content is occasionally greater than that of any of the analysed species, particularly when the copper level is low. This can

probably be ascribed to two factors; firstly, the mixed sample includes plants of all stages of growth, while the individual species comprise only more mature and easily identifiable plants; secondly, other unanalysed species occur in the mixed samples. With copper, soil contamination of plant material can play only an insignificant part.

TABLE 3

Copper contents of oat grain and straw (as parts per million in dry matter) from plots to which dressings of copper sulphate had been applied immediately prior to sowing.

Treatment in lb./acre CuSO ₄ .5H ₂ O	Oat grain	Oat straw
0	2.1	1.5
20	2.2	1.5
60	2.3	1.9
100	2.6	1.6
300	3.8	2.8

TABLE 4

Copper contents (as parts per million in dry matter) and yields (in hundredweights per acre) of oat grain and straw from plots with different cropping histories, after copper treatment.

Preceeding crop	Treatment in lb./acre CuSO ₄ .5 H ₂ O	Oat Grain		Oat Straw	
		Cu content	Yield	Cu content	Yield
Turnips	0	2.2	9.2	1.3	21.8
	20 broadcast	2.3	16.1	1.5	26.2
	1 sprayed	3.4	16.3	2.9	20.3
Least significant difference in yield at $P < 0.05$			2.1		1.8
Potatoes	0	2.3	16.9	1.7	20.0
	20 broadcast	2.3	18.9	1.9	21.3
	1 sprayed	3.2	16.9	2.9	18.1
Least significant difference in yield at $P < 0.05$			0.9		1.2

The effect of copper treatment on copper content of oat grain and straw is illustrated in Tables 3 and 4. In Table 3 it is seen that oats resembles the grasses rather than clover in response to copper treatment. Presumably all gramineae behave similarly. Appreciable increases in copper content occur only at high copper dressings unlikely to be encountered in practice. In Table 4 a difference in yield can be observed between the oat crop following potatoes and that following turnips. This finding is in accord with the farmer's practical experience. The very significant increase in yield between the untreated and 20 lb. per acre treatment is not reflected in the copper contents of the grain or straw. It would appear that with a restricted copper supply, only a limited number of seeds develop, the result being not a reduced copper content, but a small yield of grain. It is on the other hand necessary to record that copper contents of oat grain and straw from other

soils in Aberdeenshire are considerably higher, generally 2-4 p.p.m. Cu in the grain, with values as high as 5 p.p.m., and 1.5-3 p.p.m. in the straw, with occasional higher values : varietal differences may be involved. Although (Table 4) spraying 8 weeks after sowing, when the plants were 8 inches high, increased the copper content to a considerably greater extent than did soil addition before sowing, the latter appears to be more advantageous from a yield point of view. There is evidence that earlier in the growing season there is an increase in the copper content of the whole plant as a result of copper fertilizing. At a farm in Morayshire on fluvioglacial sands, sampled early in June when the oat plants were 6-7 inches high, the untreated plots (mean of 4) showed contents of 1.7 p.p.m. while plots which had received 20 lb. per acre $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ carried oat plants with 3.2 p.p.m. Cu. There was at this stage a marked difference in the appearance of the plants, the treated plots being darker green. By the middle of July, at 20-24 inches, the corresponding copper contents were 1.2 and 1.5 p.p.m., while at harvest at the end of August the oat grain contained 0.9 p.p.m. and the straw 0.9 p.p.m. from the untreated plots and 1.3 p.p.m. and 0.7 p.p.m. respectively from the treated plots.

The conclusion to be drawn from the results so far presented is that the most satisfactory reflexion of previous copper treatment is given by the copper content of red clover sampled at a specific predetermined stage of growth, rather than by analyses of grasses or cereals. It is possible that this value may be of use in assessing the copper status of a soil ; for this reason the soils from various locations in north-east Scotland have in Table 6 been arranged in order of copper content in the clover. Before passing to the consideration of these soils and the pasture herbages which they carry, the efficiency of various soil extractants in recovering copper added to soils will be considered.

THE ASSESSMENT OF SOIL COPPER STATUS

The total copper content of Scottish soils generally lies between 1 and 50 p.p.m. The copper is located mainly in the crystal lattice of the constituent minerals, in organic combination, and in a rather firmly held exchangeable form. Added copper, other than any small fraction which remains water soluble, will be present in the last two forms or as insoluble salts such as phosphates.

In this investigation, analyses of total content, and of the amounts extracted by cold water, 2.5% acetic acid and 0.05M ethylene-diamine-tetra-acetic acid (E. D. T. A.) at pH 7 have been made in order to compare soil copper status with plant uptake. The acetic acid extract gives some measure of the more readily exchangeable copper, while E. D. T. A. should extract at least a portion of the organically complexed copper as well as the colloidally bound fraction.

Cold water extracts were prepared by shaking 20 g. air-dry soil with

800 ml. glass distilled water in a polythene stoppered glass bottle on an end-over-end shaker for 16 hours. The extract was filtered through Whatman 530 filter papers, taken to dryness, treated with HNO_3 to remove organic matter and the residue taken up in 10 ml. 0.5N HNO_3 containing 250 p.p.m. Li prior to spectrochemical evaluation of copper by the porous cup solution spark technique.

Acetic acid extracts were prepared by shaking, as above, 20 g. air-dry soil with 800 ml. 2.5% acetic acid (0.5N, pH 2.5) for 16 hours, then allowing to stand for 3 days and syphoning off 500 ml. of extract, which was then treated as above. It has been found impracticable to filter acid extracts because of the variable removal of copper from the filter papers.

E. D. T. A. extracts were prepared by shaking 10 g. air-dry soil for one hour with 50 ml. 0.05 M E. D. T. A. neutralized to pH 7 with ammonia, filtering through Whatman 530 filter papers, evaporating to dryness in small silica basins, igniting off the E. D. T. A. on an electric bunsen burner, evaporating twice to dryness with HCl and then taking up in 10 ml. 0.5N HNO_3 .

TABLE 5.

Recovery of added copper from a series of soils sampled in December 1955, eight and/or twenty months after the field addition of copper.

Treatment lb./acre $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$		Approx. addition p.p.m. Cu	Total p.p.m. Cu		Acetic acid extraction p.p.m. Cu		E.D.T.A. extraction p.p.m. Cu	
1954	1955		Found	Recovered	Found	Recovered	Found	Recovered
0	0	0	21	—	0.25	—	2.5	—
20	20	5	26	5	0.81	0.56	5.6	3.1
60	60	15	52	31	4.05	3.80	17.6	15.1
100	0	12.5	32	11	1.43	1.18	8.4	5.9
300	0	37.5	76	55	9.83	9.58	33.1	30.6

In Table 5 are recorded the recoveries of copper from the soils of the plots for which analyses of oats (sampled a year earlier) have been presented in Table 3. It will be seen that, within the limit of accuracy which can be expected from samples taken from field experiments, complete recovery of the added copper is obtained in the total analyses, over 50% recovery is indicated in the results for E. D. T. A. extraction, while generally considerably less than 25% is recovered by acetic acid. These plots are on a soil which is not unusually low in copper. A more deficient soil from the same farm, from which were obtained the plants considered in Table 2, contains by comparison 12.6 p.p.m. total, 0.49 p.p.m. E. D. T. A. extractable and no acetic acid soluble Cu : the copper content of the acetic acid extracting solution is reduced by the equivalent of 0.01 p.p.m. after contact with the soil, most of the trace of copper present being removed.

The high percentage recovery of copper by E. D. T. A. is in accord with the results of Viro (1955 a) who in laboratory experiments found complete recovery of added Cu. The deviations from expectation which

occur in the total contents reported in Table 5 can be ascribed to uneven depth distribution of the added copper, the tendency when sampling by auger being to take an excessive proportion of the top few inches. The constancy of ratio of E. D. T. A. extracted copper to the total found supports this explanation. The degree of reproducibility of analytical values to be expected for untreated soils is indicated by the following figures for a soil sampled in 1951 and in duplicate in 1953, as p.p.m. Cu :

	Total	Acetic acid extract	E. D. T. A. extract
—	—	—	—
1951	10.5	0.03	0.46
1953 a	10.9	0.02	0.70
1953 b	13.0	0.03	0.64

THE RELATIONSHIP OF SOIL STATUS TO PLANT UPTAKE

In order to study the relationship of soil copper status to plant uptake, samples of plants and soils were taken from arable pasture herbages on a number of farms on typical soil types in 1953, 1954 and 1955. The analytical results for both soils and plants are recorded in Table 6. In this table the soils are, as already mentioned, arranged by year in order of copper content in the clover. Water extraction values are available only for 1953.

These soils are derived from several geological parent materials, including basic and acidic igneous rocks, and argillaceous and arenaceous sediments, covering in fact the principal types of mineral soils found in the north-east of Scotland. No attempt has been made to extend this survey to organic soils; all these examined had loss-on-ignition values below 15 %, with pH values between 5.4 and 6.4 with one exception (1955/2) which had a pH of 7.1. Lundblad, Svanberg and Ekman (1949) suggest that copper availability may be lowest at pH 5.5.

Looking first at the plant analyses, we note that over the range of clover contents of 1.7-12.3 p.p.m. Cu, the rye grass contents lie within the range 2.0-4.3, and a cursory inspection is sufficient to indicate that there is little relationship between the copper contents of rye grass and clover. Once again it is to be noted that at low copper levels, rye grass may contain more than clover. The mixed pasture tends to follow clover, but the range is smaller, and in the 1954 samples the relationship is scarcely apparent. This figure is related to the proportion of clover in the mixed herbage. The contents of the mixed pastures tend to be lower than these normally quoted in the literature for copper adequate soils. In the review by Russell (1944), herbages with contents between 3 and 5 p.p.m. Cu are considered to be marginal for grazing animals. In the north-east of Scotland hay or pasture herbage with copper content above 6 p.p.m. is exceptional.

There are wide variations in the total and extractable soil copper contents. The total contents, covering the range of 4-34 p.p.m., are what would normally be anticipated in any similarly diverse selection of soils;

TABLE 6

Copper contents of soils, soil extracts and pasture herbages from north-east Scotland, sampled in June, 1953, 1954 and 1955. (As parts per million in dry matter). Soil drainage is classified as free (F), imperfect (I) and poor (P).

Soil	Parent Material and Drainage	Pasture Herbage			Soil Total	Soil Extracts		
		Mixed	Rye Grass	Clover		Water	Acetic Acid	E.D. T.A.
1953/11	Fluvioglacial sand - F	3.7	2.4	1.9	3.8	0.08	0.14	0.88
1953/12	Old Red Sandstone till - F	5.4	3.2	3.4	10.9	0.13	0.02	0.70
1953/6	Slate - F	5.4	4.1	8.0	15.9	0.13	0.17	2.60
1953/1	Basic igneous - F	3.7	3.0	8.7	20.0	0.14	0.18	1.90
1953/8	Granitic gneiss - F	5.1	3.3	8.8	15.2	0.07	0.27	2.00
1953/9	Granitic gneiss - I	4.9	3.0	8.8	22.4	0.24	0.85	5.00
1953/2	Basic igneous - P	6.4	4.0	9.5	18.8	0.15	0.27	3.40
1953/3	Basic igneous - I	4.1	3.1	9.9	33.6	0.15	0.57	2.50
1953/10	Alluvium - I	5.5	4.1	10.0	7.7	0.12	0.25	1.80
1953/4	Old Red Sandstone marl - F	4.8	3.5	10.2	28.0	0.14	0.18	2.20
1953/7	Slate - P	5.8	3.4	10.3	26.6	0.33	1.11	6.60
1953/5	Old Red Sandstone marl - F	5.7	3.6	12.1	25.8	0.01	0.03	2.40
1954/16	Old Red Sandstone till - F	3.7	2.8	1.7	12.6	—0.01	0.49	
1954/2	Fluvioglacial sand - F	4.1	3.4	3.8	8.5	0.08	1.29	
1954/3	Old Red Sandstone sand - F	3.5	2.7	4.3	6.9	0.32	1.73	
1954/6	Old Red Sandstone marl - F	3.5	2.9	5.0	30.1	0.12	1.45	
1954/1	Fluvioglacial sand - F	2.7	2.4	5.2	5.2	0.03	0.90	
1954/12	Basic igneous - F	4.2	2.7	7.1	22.1	0.13	1.16	
1954/5	Old Red Sandstone marl - F	5.3	3.6	7.4	26.7	0.04	1.04	
1954/4	Fluvioglacial sand - F	3.8	3.0	7.5	9.7	0.15	2.00	
1954/10	Slate - F	3.7	3.2	8.9	21.7	0.13	1.71	
1954/8	Granitic gneiss - F	5.5	3.3	9.0	11.9	0.06	1.26	
1954/15	Old Red Sandstone sand - F	6.6	4.3	9.3	13.5	0.21	1.71	
1954/9	Granitic gneiss - F	4.3	3.3	9.3	20.9	0.27	1.88	
1954/14	Slate - F	4.6	3.4	9.7	26.7	0.20	1.77	
1954/7	Mixed alluvium - F	5.7	3.8	10.2	19.6	0.21	1.93	
1954/11	Slate - P	4.2	2.7	10.2	30.7	0.98	6.79	
1954/13	Basic igneous - I	3.9	2.7	12.1	25.0	0.56	2.66	
1955/5	Granitic gneiss - F	2.1	2.0	2.5	5.4	0.02	0.66	
1955/3	Quartzitic gneiss - F	4.2	3.5	4.1	4.6	0.06	0.63	
1955/7	Granitic gneiss - F	4.4	2.4	5.2	10.6	0.14	1.24	
1955/6	Slate - F	3.2	2.4	5.6	25.3	0.15	1.29	
1955/1	Granitic gneiss - F	3.8	3.2	6.9	8.7	0.10	1.05	
1955/9	Granitic gneiss - F	5.1	2.7	6.9	17.3	0.19	1.21	
1955/4	Mixed drift - F	5.5	3.2	8.5	9.8	0.17	1.55	
1855/2	Old Red Sandstone marl - F	5.5	3.1	9.1	23.4	0.14	1.05	
1955/8	Granitic gneiss - F	5.4	3.4	12.3	15.6	0.49	1.58	

including neither exceptionally low nor exceptionally high values. The lowest contents, as would be anticipated, are in the sandstones and some of the granites, soils derived from basic igneous rocks or argillaceous sediments being generally higher.

The extractable contents reported here may be compared with figures quoted by other workers for similar conditions of extraction. The few water extracts give values similar to those of Scharrer and Kuhn (1940) for German soils. Among the dilute acid extracts reported in the literature are 2.5 % acetic acid values of 0.54-1.79 p.p.m. (Pickett and Dinius 1954) and 3 % acetic acid values of 0.4 p.p.m. (Vermatt and van der Bie 1950) from Missouri and Indonesia respectively. From Danish soils, hydrochloric

acid of pH₂ extracted up to 3 p.p.m. with a mean value of 0.2-0.3 p.p.m. (Steenbjerg 1940, Steenbjerg and Boken 1949). Normal ammonium nitrate removed only 0.0-0.27 p.p.m. Cu from 91 Danish soils of different parent materials. Bergh (1952) found rather more (0.1-0.7 p.p.m.) in dilute magnesium sulphate extracts of Norwegian mineral soils. From Germany, Baron (1955) reports the extraction of 0.3-6.0 p.p.m. Cu by an ammonium sulphate-acetic acid reagent at pH 4, and from Italy, Bighi and Trabanelli (1954) found the high values of 2.1-32 p.p.m. Cu in 0.1N KCl extracts adjusted to the pH of the soil. Cheng and Bray (1953) found 3.4-6.4 p.p.m. Cu extractable by 1% versenate solutions from various American soils, while Viro (1955 b) used 0.05 M E. D. T. A. extraction to assess Finnish soils, finding 1.88-11.0 p.p.m. Cu extractable. Hurwitz (1948) observed increased copper extraction by neutral normal ammonium acetate solutions to which soluble components of plants materials had been added.

Most of the other authors quoted by Swaine (1955) report total copper contents or amounts dissolved by concentrated acid extraction. In general the results for Scottish soils in Table 6 suggest somewhat lower extraction levels than those just mentioned, although a few of the results fall into the ranges quoted. At this point it is instructive to note that, assuming a total plant dry matter production of 5 tons per acre per annum, a 5 p.p.m. Cu content in the plant corresponds to a removal of 0.025 p.p.m. Cu from the surface soil, using the accepted value of 1000 tons surface soil per acre to a depth of 9 inches. The amounts of water or acetic acid soluble copper in a few of the soils in Table 6 are therefore less than the annual plant requirement.

Of the soils in Table 6, blind-ear in oats, or at least an unsatisfactory grain yield, has been observed in crops on or adjoining fields 1953/11, 1953/12, 1954/16, 1954/2, 1954/1, 1955/5 and 1955/3, while the crops on soil 1954/3 are generally light. These soils all carry clovers with copper contents of less than 5.5 p.p.m. Of the soil analyses, only the E. D. T. A. extractable copper places the soils in approximately the same order. The total soil copper contents show sufficient anomalous values to reduce the usefulness of the determination as a diagnostic technique.

Although the results for 1955 suggest that there may be in that year a satisfactory relationship between acetic acid soluble copper and clover uptake, the numbers of samples are not sufficient for statistical evaluation. This was a dry year, and climatic factors may be involved. It is interesting in this connection to note that (Table 6) all the low copper contents in clovers occur on well-drained soils, while many of the highest contents in both 1953 and 1954 are on soils classified as imperfectly or poorly drained. There is an indication that drainage factors may affect the amount of E. D. T. A. extractable copper. When the results are examined statistically, a significant correlation at the $r = 0.56$ level is found for all methods of soil assessment, the number of samples not being sufficient to differentiate between the different methods.

It would appear that the best correlation should be found at low copper levels in the clover, as all findings go to indicate that the clover content

does not exceed 10-12 p.p.m. irrespective of the amount of copper available in the soil. When the rather limited number of samples with clover copper contents below 6 p.p.m. are studied statistically it is in fact found that only the E. D. T. A. figures show a significant correlation ($r = 0.62$) at the $P < 0.05$ level.

The quantities of copper extracted by E. D. T. A. are considerably greater than by water or acetic acid, but amount to only 5-20 % of the total content, compared (Table 5) with a considerably larger recovery of copper added in soil treatment. It would appear that, from the present rather limited data, the copper status of a soil, in so far as the growth of oats is concerned, is best assessed by the amount of copper extracted by E. D. T. A., the deficiency level being put tentatively at about 1 p.p.m., or by a determination of the content of copper in the clover constituent of a mixed pasture herbage grown on the soil and sampled at the period of flowering in June, the critical content being around 5 p.p.m.

Returning to the finding (Table 4) that blind-ear in oats is more pronounced after turnips than after potatoes, the following figures for the copper contents of the soils sampled after the root-crops were harvested but before the oats were sown tend to confirm the value of E. D. T. A. extraction

	Total	Acetic acid soluble	E. D. T. A. extraction
After turnips.....	17.7 p. p. m.	0.00 p. p. m.	0.60 p. p. m.
After potatoes	17.0 p. p. m.	-0.02 p. p. m.	1.44 p. p. m.

The difference in E. D. T. A. extraction is much larger than can be accounted for by plant removal. Results for copper contents of clover grown immediately following these root crops are unfortunately not available.

Much additional work is required to confirm the findings and establish the reliability of the tentative suggestions put forward here. Any reliable method for the assessment of soil copper status must allow for such factors as soil parent material, organic matter content, acidity, and drainage conditions, as well as previous history and climatic factors. The methods suggested seem to provide the best approach at present available for Scottish soils.

SUMMARY

1. Of the normal constituents of a mixed pasture herbage, only clover shows a marked increase in copper content following the addition of copper to the soil.
2. On copper deficient soils, increase in yield of oat grain following copper manuring is not accompanied by a marked increase in copper content of grain or straw.
3. There would appear to be a relationship between the occurrence of blind-ear in oats and the copper content of clover grown on the same soil.

4. There is some correlation between the copper content of clover and total soil copper, acetic acid soluble and E. D. T. A. extractable copper, but only the latter promises to be satisfactory as a diagnostic technique for the identification of deficient soils.

ACKNOWLEDGEMENTS

It is desired to acknowledge the valuable assistance of Mr. J. R. Devine in much of the field work and of Mrs. M. J. McDonald for the statistical evaluation of the results.

LITERATURE CITED

- BARON, H. 1955. Gemeinsame Extraktion und chemische Bestimmung des leichtlöslichen Anteils der Mikronährstoffe Bor, Eisen, Kobalt, Kupfer, Mangan, Molybdän und Zink in Boden. *Landw. Forsch.*, 7, 82.
- BERGH, H. 1952. Determination of macro- and micronutrients in soil and plant material involving use of a photoelectric flame spectrograph and a photoelectric colorimeter. Oslo : Akademisk Trykningssentral.
- BIGHI, G. & TRABANELLI, G. 1954. Experimental contribution to the problem of the determination of total and extractable manganese and copper in soils. *Ann. Chim. Roma*, 44, 371.
- CHENG, K. L. & BRAY, R. H. 1953. Two specific methods of determining copper in soil and in plant material. *Analyt. Chem.*, 25, 655.
- FARMER, V. C. 1950. The spectrographic analysis of plant ash in the carbon arc. *Spectrochim. Acta*, 4, 224.
- HURWITZ, C. 1948. Extraction of copper from soil as affected by soluble components of oat straw and alfalfa meal. *Soil Sci.*, 65, 275.
- LUNDEBLAD, K., SVANBERG, O. & EKMAN, P. 1949. The availability and fixation of copper in Swedish soils. *Plant & Soil*, 1, 277.
- MCELROY, W. D. & GLASS, B. 1950. Copper Metabolism. Baltimore : Johns Hopkins.
- MITCHELL, R. L. 1954. Trace elements in some constituent species of moorland grazing. *J. Brit. Grassl. Soc.*, 9, 301.
- MITCHELL, R. L. & SCOTT, R. O. 1957. The application of spectrochemical methods to agricultural problems. *Appl. Spectros.* 11, 6.
- PICKETT, E. E. & DINIUS, R. H. 1954. Trace elements in Missouri soils. *Res. Bull. Mo. Agric. Exp. Sta.*, n° 553.
- RUSSELL, F. C. 1944. Minerals in pasture: Deficiencies and excesses in relation to animal health. *Imp. Bur. Anim. Nutr. Tech. Commun.*, n° 15.
- SCHARRER, K. & KUHN, H. 1940. Die Dithizon - Mischfarbenmethode und ihre Anwendung bei der Bestimmung kleinsten Mengen Kupfer in Böden und biochemischen Substanzen. *Bodenk. u. Pflernähr.*, 21/22, 344.
- STEEENBJERG, F. 1940. Kobber i Jord og Kulturplanter. *Tidsskr. Planteavl.*, 45, 259.
- STEEENBJERG, F. & BOKEN, E. 1949. Kobber i Jord og Kulturplanter III. *Tidsskr. Planteavl.*, 52, 375.
- SWAINE, D. J. 1955. The trace-element content of soils. *Commonw. Bur. Soil Sci. Tech. Comm.*, n° 48.
- VERMATT, J. G. & BIE, G. J. van der. 1950. On the occurrence of copper in tropical soils. *Plant & Soil*, 2, 257.
- VIRO, P. J. 1955 a. Use of ethylenediaminetetraacetic acid in soil analysis. I. Experimental. *Soil Sci.*, 79, 459.
- VIRO, P. J. 1955 b. Use of ethylenediaminetetraacetic acid in soil analysis. II. Determination of soil fertility. *Soil Sci.*, 80, 69.
- WELLS, N. 1956. Soil studies using sweet vernal to assess element availability. I. Preliminary investigations. *N. Z. J. Sci. Tech.*, 37 B, 473.

DISCUSSION

Mc CONAGHY (M/Agriculture, Northern Ireland U. K.). — I) *It is the usual custom to spray the potato crop against blight with sprays containing copper sulphate. Could this possibly explain the different Cu extractions after swedes and after potatoes ?*

MITCHELL. — The use of copper sprays is not general in the north-east of Scotland. No copper sprays have been applied for at least 20 years to the fields where the differences between oat yields following turnips and potatoes have been obtained.

Mc CONAGHY. — II) *In Northern Ireland it has long been recognised that flax crops grown after swedes or turnips are never successful. Yet the reason for this is still unknown. Has Dr. Mitchell done any work on Cu needs of flax ? Perhaps flax may need appreciable amounts of copper or similar element and, if swedes remove Cu readily, later flax crops may suffer from deficiencies. Do swede crops remove appreciable amounts of Cu ?*

R. — We have done no work on the trace element requirements of flax. The different responses after swedes and potatoes cannot be explained by their respective copper uptakes.

C. BOULD. — *Has Dr. Mitchell tried cold N/10 HCl as a soil extractant for copper ? We found that the results agreed well with the values found by a biological method using Aspergillus niger. Our results, using acetic acid as an extractant, agree with those mentioned by you.*

R. — We have not used N/10 HCl extraction, in part because difficulties arise in subsequent spectrochemical analysis.

H. MADGWICK (Angleterre). — *Is there any relation between total copper uptake (as opposed to content in p. p. m.) of clover on the various soil types, and the different methods of extracting soil ?*

R. — We do not have yield data for clover for these plots.

J. DUMAS (IFAC, Paris). — I) *Sous quelle forme aisément libérable Cu est-il stocké pour manifester un arrière effet pendant 5 ans ?*

II) *L'auteur peut-il dire si cet arrière effet est fonction de la teneur en matières organiques des sols.*

R. — These are problems which are at present under investigation. We consider that the soil organic matter is an important factor.

ANNE (Station d'Agronomie, Colmar). — *Les chiffres cités par les auteurs montrent que l'absorption du cuivre par la plante a été favorisée par un chaulage. L'apport de chaux a-t-il été suffisant pour amener le sol à un pH supérieur à 7 ? Plusieurs travaux relatifs à l'étude de la toxicité du cuivre, dont les nôtres, ont montré que, dans les sols acides, cette dernière diminue à la suite d'un apport de chaux suffisant pour rendre le sol alcalin.*

R. — After liming, the pH values were still below pH 6.2. In our experience liming appears to reduce the uptake of soil copper from untreated plots but if anything to increase the availability of added copper.

RAMEAU J. (Laboratory of Soil and Crop testing, Oosterbeek, Holland). — *The phenomenon as shown by Dr. Mitchell in oat plants (picture) are they the same as those found in 1920 by Prof. Herdig (Holland) and Rademacher (Germany) ? (reclamation disease).*

R. — There have been many designations applied to copper deficiency diseases of cereals in different countries : the symptoms of all these disorders are rather similar.

**Comparaison du diagnostic foliaire
et de l'analyse des sols pour la détermination
des besoins en engrais de l'arachide**
par

M. OLLAGNIER et P. PREVOT

Institut de Recherches pour les Huiles et Oléagineux, Paris.

La note suivante traite d'un travail réalisé sur l'arachide au Sénégal, territoire qui produit en moyenne 500.000 t. d'arachides par an.

Les types de sols sur lesquels ont porté les travaux ont été étudiés par R. MAIGNIEN.

Pour déterminer la richesse des sols en éléments fertilisants ou prévoir les augmentations de rendement à attendre de l'utilisation des engrais, l'agronome dispose actuellement de deux techniques : analyse des sols, analyse des plantes que l'on cultive sur ces sols.

Nous ne discuterons pas dans le détail les avantages ou les inconvénients que l'on peut mettre à l'actif ou au passif de l'une ou l'autre.

En gros, ils sont les suivants :

Analyse de sols :

Avantage : possibilité d'effectuer les prélèvements pendant une période assez longue de l'année, sans avoir à craindre de grandes variations dans les teneurs en éléments totaux pour P et K.

Difficulté : déterminer les horizons intéressants ou exploités par la plante.

Inconvénient grave : nutrition minérale différente selon les espèces végétales, dont les techniques empiriques d'extraction ne tiennent pas compte.

Analyse foliaire :

Avantage : analyse de la nutrition de la plante *in situ*, dans ses conditions naturelles de végétation.

Difficultés : l'échantillonnage. Nécessité de travailler à une époque et sur un organe bien défini. Influence de la climatologie sur la croissance de la plante et sur l'âge physiologique de l'organe prélevé.

Nous pensons qu'il est en général inutile de chercher à relier les teneurs en éléments du sol ou de la plante aux rendements obtenus sur des expériences réalisées dans des conditions de sol et de climat très différentes.

Au Sénégal, par exemple, les grosses variations de pluviométrie (300 à 400 m/m dans le Nord contre 700 à 800 dans le Sud) ont entraîné une évolution des sols vers des types différents.

Les différences de sol et de climat conduisent à utiliser des variétés qui ont un cycle différent, un port entraînant des écartements différents, un potentiel de rendement différent.

Ainsi, les corrélations entre rendements des plantes, d'une part, et teneurs en éléments des sols ou des plantes, d'autre part, risquent d'être mauvaises ou trompeuses.

Par contre, nous verrons que des corrélations satisfaisantes entre pourcentages en éléments des sols ou des plantes, et réponses aux engrains peuvent être dégagées.

L'Institut de Recherches pour les Huiles et Oléagineux a effectué en 1953, 1954 et 1955, 53 essais agronomiques de fumure minérale contrôlés par le diagnostic foliaire. Trente essais ont donné lieu à des prélèvements de sol pour analyse du phosphore total et de la potasse totale.

Vingt de ces essais ont donné lieu à une analyse plus complète comportant, en plus des dosages précédents, le dosage de la potasse échangeable et le dosage de l'acide phosphorique après :

- extraction à l'eau ;
- extraction au réactif Barbier-Morgan ;
- extraction à la potasse N 2/1000 ;
- extraction à l'acide sulfurique N 2/1000 ;
- extraction à l'acide citrique 1 % ;
- extraction à l'acide nitrique concentré à chaud.

Les résultats analytiques et, pour chaque expérience, les meilleurs pourcentages d'augmentation de rendement (nos essais étudient des doses variables de phosphate bicalcique ou de chlorure de potassium) sont indiqués dans le tableau I.

I — PHOSPHORE

A. — DÉTECTION DES CARENCES PHOSPHORÉES PAR L'ANALYSE DE SOL

Nous étudierons d'abord les techniques d'extraction du phosphore. L'extraction à l'eau ne donne en général aucun résultat (voir tableau I).

En utilisant les résultats du tableau I (p. 269), nous avons tracé les quatre diagrammes de la figure N° 1, qui indiquent les réponses aux engrains phosphatés (en pour-cent du rendement des parcelles témoins), en fonction des quantités de P_2O_5 du sol données par 4 méthodes analytiques :

- extraction acide citrique ;
- extraction au réactif Barbier-Morgan ;
- extraction à l'acide nitrique à chaud ;
- extraction à la potasse N 2/1000.

Les valeurs des coefficients de corrélation entre les augmentations de rendement produites par les applications de phosphate bicalcique et la teneur en phosphore des sols sont les suivantes :

Mode d'extraction	Gamme des teneurs en P_2O_5	Valeur du coefficient de corrélation
Eau	0 à 1 ppm	
Barbier Morgan	0 à 15 ppm	— 0,423 (n. s.)
$\frac{2}{KOH \quad 1000} N$	3 à 72 ppm	— 0,385 (n. s.)
$\frac{2}{SO_4H_2 \quad 1000} N$	6 à 180 ppm	— 0,393 (n. s.)
Acide citrique 1 %.....	6 à 315 ppm	— 0,570 *
Acide nitrique concentré ..	26 à 1.040 ppm	— 0,509 *

Les réactifs les plus forts, extraits nitrique et citrique donnent statistiquement les meilleures indications pour la prévision des réponses au phosphate bicalcique : (plus la teneur en P_2O_5 du sol est faible, plus la réponse au phosphate bicalcique est élevée).

On voit sur la figure N° 1 (diagramme en bas à gauche) que l'on n'obtient pratiquement plus de réponse au phosphore lorsque la teneur en P_2O_5 total du sol dépasse 140 ppm. Cette valeur constitue en quelque sorte un « niveau critique » du P_2O_5 « total » du sol.

Il y a cependant des points qui s'écartent fortement de la courbe moyenne. Nous en discuterons plus loin.

Dans le cas de l'extraction à l'acide citrique 1 %, le niveau critique de P_2O_5 peut être évalué à 60 ou 70 parts par million.

Il semble que l'analyse de l'extrait citrique et du phosphore total du sol soit bien en accord avec les résultats expérimentaux observés sur les rendements, à condition que de très nombreux échantillons de sol soient analysés.

La figure N° 2 donne

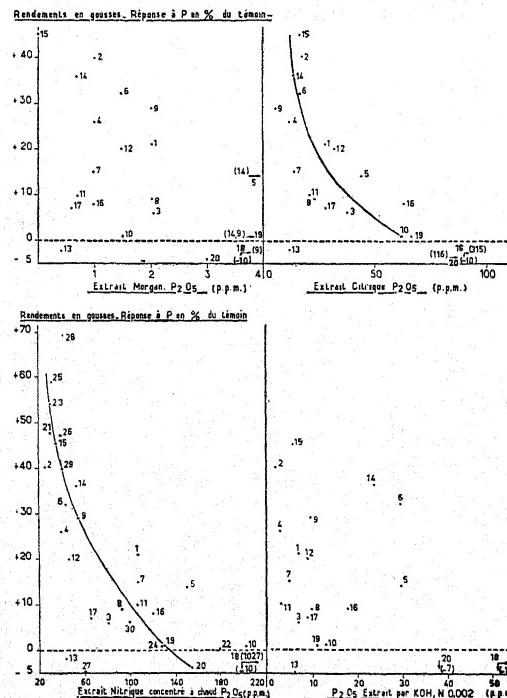


FIG. 1. — Réponse de l'arachide au phosphate bicalcique (en %), en fonction de la teneur des sols en P_2O_5 . Extrait par quatre méthodes différentes.

les suppléments de rendement obtenus *en moyenne*, par l'application de doses de 37 ou 75 kg de phosphate bicalcique à l'hectare, en fonction du contenu en P_2O_5 total du sol.

Dans les sols très carencés (< 50 ppm.), au nombre de 12 sur 28, l'application de 75 kg de phosphate bicalcique donne des résultats spectaculaires (plus de 500 kg de gousses supplémentaires). Lorsque le sol contient 100 à 150 parts par million de P_2O_5 , le supplément de rendement n'est plus que de 110 kg/ha (soit 1,5 kg de gousses par kg d'engrais) ; une dose de 37 kg de phosphate par hectare est économiquement plus rentable, car le supplément de rendement obtenu est de 80 kg/ha, soit 2 kg de gousses par kg de phosphate appliqué.

Lorsque le contenu du sol en P_2O_5 total dépasse 150 parts par million, l'application de phosphate est inefficace.

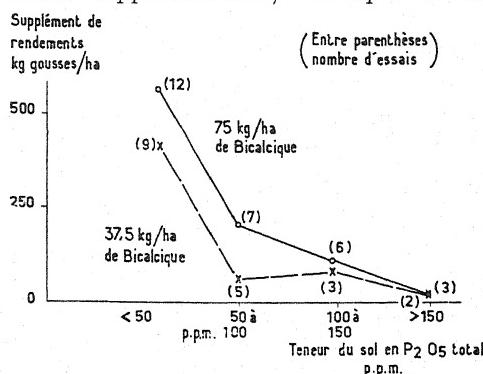


FIG. 2. — Augmentations moyennes de rendements en gousses obtenues par l'application de 37 ou 75 kilos de phosphate bicalcique par hectare, en fonction de la teneur des sols en phosphore total.

B. — DÉTECTION DES CARENCES PHOSPHORÉES PAR LE DIAGNOSTIC FOLIAIRE

Le niveau optimum de nutrition phosphorée de la feuille est fonction de sa teneur en azote ; à chaque valeur de N correspond une teneur optimum dans la feuille (cf. rapports annuels de l'I. R. H. O. et PREVOT et OLLAGNIER 1951, 1953, 1954).

Dans la figure N° 3, on a fait figurer les points correspondant aux parcelles avec phosphore. Une flèche indique l'évolution de l'équilibre N, P de la feuille sous l'effet de l'application de phosphore.

La ligne supérieure indique la teneur optimum en P pour les diverses valeurs de N.

Cette courbe permet d'estimer si la nutrition phosphorée d'un prélèvement foliaire est satisfaisante ou non et si l'on peut attendre une réponse à un apport d'engrais phosphatés.

Par exemple, une teneur en P de 0,240 % de matière sèche indique un excès si la teneur en N est inférieure à 3,5 %, un optimum si cette teneur est de l'ordre de 3,5 à 4 % et une carence si elle est supérieure à 4 %.

Cette relation entre teneurs en N et en P s'explique très bien par le fait que ces deux éléments sont les constituants essentiels du protoplasme.

Un certain nombre de flèches n'atteignent pas la courbe de nutrition optimum de P, car les doses de phosphate appliquées dans les essais n'ont

pas toujours été suffisantes pour amener les teneurs en N et en P de la feuille jusqu'aux valeurs les plus favorables.

Les points 5, 7, 8, 10, 13, 16, 17, 18, 20, 22, 24, 27 sont situés au-

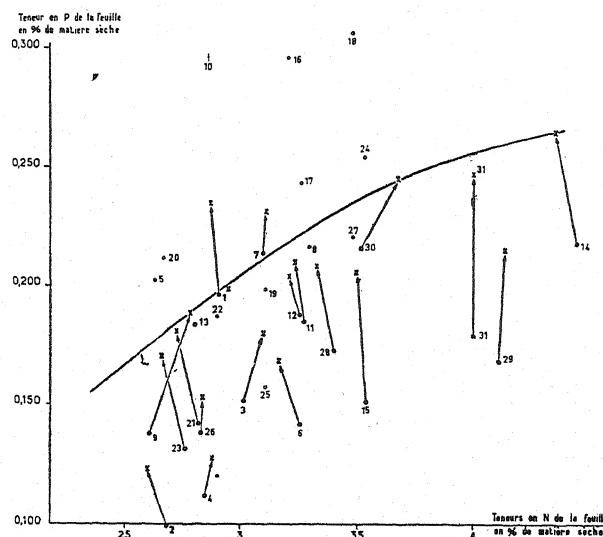


FIG. 3. — Relation entre nutrition phosphorée et azotée. La courbe représente la nutrition phosphorée optimum en fonction de la teneur en N de la feuille.

dessus ou au voisinage de la courbe ; leur nutrition phosphorée est au départ optimum ou excédentaire. Ils ne répondent pas du tout au phosphate bicalcique ou lorsque la réponse est positive, elle n'est pas significative.

Les 6 points (5, 8, 10, 16 et 17) sont caractérisés par une carence potassique plus ou moins nette. (Le chlorure de potassium augmente le rendement de 6 à 70 %).

On note de plus (tableau II) une action positive du phosphate bicalcique sur le contenu en potassium de la feuille.

La légère réponse positive des rendements à l'application de phosphate bicalcique observée bien que le niveau de P soit supérieur au niveau optimum, est ainsi expliqué par une carence potassique, et par une action indirecte du phosphate bicalcique

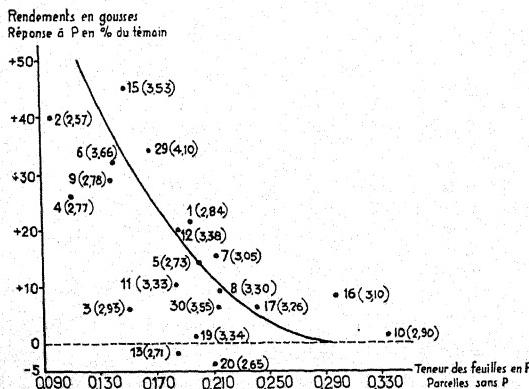


FIG. 4. — Augmentations de rendements en gousse par le phosphate bicalcique ; les essais sont classés en fonction de la teneur en P et de la teneur en N (chiffres entre parenthèses) des feuilles.

(déplacement de potassium échangeable du sol par le calcium du phosphate).

L'exception de Dia (réponse significative à P — point N° 7) s'explique de la même façon.

Seule subsiste l'exception du point N° 1, soit un cas sur trente.

Nous avons indiqué, sur la figure N° 4, la valeur de la nutrition azotée des différentes situations. On constate que les 6 situations au-dessous de la courbe (2, 4, 3, 13, 19, 20) ont une teneur en N de 2,83 ; les 10 situations proches de la courbe ont une teneur en N de 3,19 ; les 4 situations au-dessus de la courbe (10, 15, 16 et 29) ont une teneur en N de 3,41.

La réponse à P augmente, d'une part, lorsque la teneur en P dans les feuilles diminue et, d'autre part, lorsque la teneur en N des feuilles augmente.

TABLEAU II

	Situation	Réponse des rendements aux applications de phosphate bicalcique	Effet du phosphate bicalcique sur la teneur en K	Effet de K sur le rendement
Réponse positive non significative	5 Dala..... 7 Dia..... 8 Tilmakha..... 10 Dioudiouf..... 16 Tialé..... 17 Meumou.....	+ 14 % + 15 % + 9 % + 1 % + 8 % + 7 %	+ 0,31 + 0,13 + 0,12 + 0,02 + 0,03 + 0,06	+ 18 % + 20 % + 73 % + 11 % + 6 % + 31 %
Réponse négative	13 Gol..... 18 K. F. Gueye..... 20 Siné Leykane..... 22 Tambacounda..... 27 Gossas.....	- 5 % - 10 % - 7 % 0 % - 8 %		

Ainsi se trouve une fois de plus confirmée l'importance de l'interaction NP dans la nutrition de l'arachide.

La figure N° 5 indique la courbe de réponse à une dose de 75 kg de phosphate bicalcique dans 29 essais classés en fonction de la déficience en P estimée par le diagnostic foliaire.

La déficience est estimée par l'écart de teneur en P par rapport à la norme optimum déterminée au moyen de la figure N° 3.

On voit qu'il est possible de prévoir de façon très satisfaisante l'intensité de la réponse au phosphate en fonction de la teneur en phosphore de la feuille.

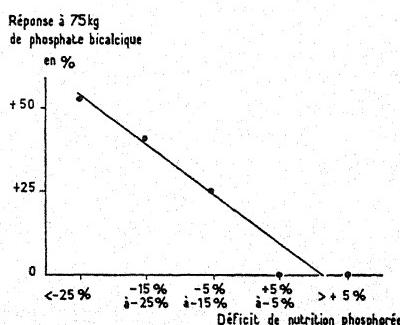


FIG. 5. — Réponse à l'application de phosphate bicalcique en fonction du déficit de nutrition de la feuille en P par rapport à la norme optimum.

C. — VALEUR COMPARATIVE DES DEUX MÉTHODES

Pour 29 essais, on trouve une valeur de — 0,628 très significative (P-0,01) pour le coefficient de corrélation entre l'estimation de la déficience relative en P des feuilles, par rapport à la norme optimum, et la réponse observée à 75 kg de phosphate bicalcique.

Pour 30 essais, on trouve un coefficient de corrélation de — 0,436 significatif à P-0,05 entre la teneur en phosphore du sol et la réponse à l'application de 75 kg de phosphate bicalcique.

La prévision est donc meilleure statistiquement parlant par le diagnostic foliaire.

* * *

Le paragraphe précédent a montré que dans 1 cas seulement sur 30 le diagnostic foliaire ne rendait pas compte de l'augmentation de rendement constaté.

Dans le cas de l'analyse de sol, la figure N° 1 diagramme 3 montre que le nombre de cas mal expliqués est de 5 sur 30 environ (points 1 et 5 au-dessus de la courbe — 13, 17 et 27 en-dessous).

Dans ces cas, le diagnostic foliaire montre que la non réponse au phosphore pour les N° 13 et 17 est vraisemblablement due à des teneurs optimum en phosphore (voir la position de ces points sur la figure N° 2).

Les deux anomalies inverses, bonne réponse sur les rendements pour teneurs en P_2O_5 du sol assez élevées (points N° 1 Sagata et N° 5 Dala) se placent bien sur la courbe, teneurs en P des feuilles, % augmentation de rendements (figure N° 3).

Le diagnostic foliaire explique ses propres anomalies par l'examen de l'effet des éléments l'un sur l'autre et explique les résultats anormaux de l'analyse des sols.

II — POTASSIUM

Il n'existe aucune corrélation entre la teneur en potassium total ou échangeable du sol et la teneur en potassium de la feuille.

Nous n'avons trouvé non plus aucune corrélation significative entre la teneur en potassium total ou échangeable du sol et la réponse à l'application de potasse. La corrélation est moins mauvaise pour la potasse échangeable que pour la potasse totale (pour cette dernière, plus il y aurait de potasse dans le sol plus l'augmentation de rendement pour la potasse aurait tendance à être élevée).

Par contre, nous avons trouvé une corrélation presque significative entre le rapport potasse échangeable, potasse totale et l'augmentation de rendement par la potasse.

La corrélation devient significative à 5 % lorsqu'on tient compte du logarithme de ce rapport.

On peut escompter une réponse à la potasse lorsque ce rapport est inférieur à 0,3. Ces résultats restent cependant à confirmer dans d'autres situations.

Nous étudierons maintenant les résultats fournis par l'analyse de K dans la feuille.

Nous avions trouvé (voir rapport annuel 1954 de l'I. R. H. O.) une relation entre la teneur en K de la feuille et le poids sec des 50 feuilles de l'échantillon (voir ci-dessus p. 177 à 192).

Cette figure a été établie sur les mêmes principes que la figure N° 2 en comparant les teneurs en K et les poids secs des feuilles dans les divers essais avec ou sans potasse.

TABLEAU I. — *Résultats de dosages de P₂O₅ et de K₂O effectués sur des terres du Sénégal teneurs en parts par million*

Situation	N°	Acide phosphorique P ₂ O ₅ p.p.m.						Réponse au phosphate bicalcique en %	Potasse K ₂ O p.p.m.			Réponse au chlorure de potassium en %
		Extrait aqueux	Extrait Morgan	Extrait SO ₄ H ₂ 0,002 N	Extrait KOH 0,002 N	Extrait citrique	Extrait nitrique		K ₂ O échangé	K ₂ O Extrait nitrifique	Rapport échangé/total	
Sagata....	1	0	2,2	12	7	28	108	+21	60	169	0,35	+ 8
Fass.....	2	0	1,1	12	2	18	26	+40	72	169	0,42	-14
N'Diagne ..	3	0	2,6	15	7	38	82	+ 6	48	120	0,40	- 1
Niomre ...	4	0,22	1,1	18	3	12	40	+26	108	290	0,37	- 4
Dala	5	0,075	4,5	32	30	44	151	+14	48	169	0,28	+18
Guer	6	0	1,5	48	30	17	44	+32	36	120	0,30	+ 4
Dia	7	0	1,1	12	5	14	108	+15	24	132	0,18	+21
Tilmakha ..	8	0	2,2	18	10	23	94	+ 9	24	96	0,25	+73
Medina ..	9	0	2,2	30	10	6	56	+29	36	96	0,37	+ 3
Dioudiouf ..	10	0	1,5	15	13	62	204	+ 1	24	120	0,20	+11
M'Boss	11	0	0,75	12	3	21	108	+10	84	120	0,70	- 4
Gade	12	0	1,5	32	9	32	46	+20	60	108	0,55	- 5
Gol	13	0	0,37	18	6	12	44	- 5	36	96	0,37	- 9
Tiavondo ..	14	0	0,75	12	24	14	54	+36	24	60	0,40	+ 8
K. Biram ..												
Dong	15	0	0	6	6	17	36	+45	24	48	0,50	+ 6
Tiale	16	0	1	12	18	63	122	+ 8	36	132	0,27	+ 6
Meumou ..	17	0,45	0,6	8	9	28	66	+ 7	120	290	0,41	+31
K. F. Gueye ..	18	1,2	9	184	72	315	1.040	-10	36	290	0,12	+31
M'Badiane ..	19	0	15	40	12	66	132	+ 1	36	156	0,23	+ 1
Sine Ley-kane ..	20	0	3	36	38	116	156	- 7	36	145	0,25	- 5
Kaffrine ...	21	↑	↑	↑	↑	↑	30	+48	↑	130	↑	+ 7
Tambacounda ..	22	↓	↓	↓	↓	↓	180	0	↓	200	↓	+ 3
Maka Yop ..	23	↓	↓	↓	↓	↓	30	+54	↓	180	↓	+ 5
Diakhao ..	24	↓	↓	↓	↓	↓	130	+ 1	↓	110	↓	+ 5
Kounghoul ..	25	↓	↓	↓	↓	↓	30	+59	↓	130	↓	+ 4
S. Malème ..	26	↓	↓	↓	↓	↓	40	+45	↓	190	↓	+ 4
Gossas.....	27	↓	↓	↓	↓	↓	60	- 5	↓	110	↓	- 6
Lamaran	28	↓	↓	↓	↓	↓	40	+69	↓	120	↓	+ 1
Madiale....	29	↓	↓	↓	↓	↓	40	+34	↓	120	↓	+10
Djilor	30	↓	↓	↓	↓	↓	100	+ 6	↓	140	↓	+ 1

Une teneur en potasse de 0,8 % dans la feuille indique une carence en K si le poids sec des échantillons de 50 feuilles est de 3 grammes par exemple, une nutrition excédentaire si le poids sec est de 4,5 gr et de nouveau une carence si le poids sec est supérieur à 6 g.

Ce résultat, ou cette méthode d'interprétation, demande à être confirmé au cours des prochaines années.

CONCLUSION

De nombreux laboratoires consacrent leur activité à l'analyse des sols. Bien souvent il est difficile de dégager des normes de fertilité des résultats de ces analyses. Il est difficile de concevoir que ces normes soient les mêmes pour différentes plantes cultivables sur ces sols.

Un certain nombre de chercheurs ont étudié, pour une culture déterminée, simultanément la valeur de l'analyse des sols et du diagnostic foliaire.

Leurs travaux font apparaître la supériorité du diagnostic foliaire (Lundegardh, Lilleland et Brown, Titus et Boynton, Wallace, Thomas).

Nous concluerons dans le même sens qu'eux pour la détermination des carences phosphorées de l'arachide.

BIBLIOGRAPHIE

- LILLELAND O. and J. G. BROWN. 1941. The potassium nutrition of fruit trees III. A survey of the K content of peach leaves from one hundred and thirty orchards in California. Proc. Amer. Soc. Hort. sci., 38, 37-48.
- LUNDEGARDH H. 1951. « Leaf analysis », Hilger and Watts Ltd. Hilger Division, London.
- MAIGNIEN R. « Classification des sols subarides du Sénégal ». VI^e Congrès international de la Science du Sol. Paris 1956, vol. E P. 469-472.
- PREVOT P. et OLLAGNIER, M. 1951. « Application du diagnostic foliaire à l'arachide ». Oléagineux, t. 6, 329-337.
- PREVOT P. 1953. « Les bases du diagnostic foliaire : application à l'arachide ». Oléagineux, t. 8, 67-71.
- PREVOT P. et OLLAGNIER, M. 1953. « Engrais minéraux et oléagineux tropicaux ». Oléagineux, t. 8, 843-851.
- PREVOT P. et OLLAGNIER M., 1954. « Diagnostic foliaire du Palmier à Huile et de l'Arachide ». Analyse des plantes et problèmes des engrains minéraux. I. R. H. O., Paris, 239-260.
- REUTHER W. and SMITH, P. 1954. « Leaf analysis as a guide to the nutritional status of orchard trees ». Analyse des plantes et problèmes des engrains minéraux. I. R. H. O. Paris, 166-180.
- THOMAS W. 1945. « Present status of diagnosis of mineral requirements of plants by means of leaf analysis ». Soil Science 59, 353-374.
- TITUS J. S. and BOYNTON, D. 1953. « The Relationship between soil analysis and leaf analysis in eighty New York apple orchards ». Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 61, 6-23.
- WALLACE, T. 1952. « Diagnosis of mineral deficiencies in plants by visual symptoms ». H. M. Stationery Office, London.

DISCUSSION

CORCELLE (I. R. C. T., Paris). — *Sur les graphiques représentés, les courbes de régression ont-elles été calculées ou tracées à l'œil ? Dans le cas des déficits en phosphore, la courbe de régression ne devrait-elle pas être une droite (Loi de Mitscherlich) ?*

R. — Les courbes représentant la réponse des rendements à l'application de phosphate bicalcique en fonction de la teneur en phosphore de la feuille, ou du sol, sont obtenues sur des moyennes.

Elles peuvent avoir la forme d'une droite si la carence est très accentuée, ou être incurvées si la carence est plus légère.

GACHON (I. N. R. A., Clermont-Ferrand). — *Ainsi que l'a fait M. Ollagnier dans sa conférence à la suite de M. Prevot, je crois qu'il est important de comparer non seulement les teneurs brutales en éléments contenus dans un organe considéré, mais également de les rapporter au poids sec de l'organe prélevé. De cette façon, on intègre le facteur quantitatif (poids ou volume de l'organe prélevé) au facteur qualitatif (pourcentages en éléments rapportés à la matière sèche). Ce mode d'expression permet souvent de trouver une interprétation correcte des résultats.*

De même, il est indispensable, dans le cas de l'analyse du sol, d'intégrer le facteur quantitatif (représenté par la profondeur du sol et d'une façon plus générale par l'ensemble des caractères physico-chimiques du profil) au facteur qualitatif qui représente l'analyse chimique brute des éléments dits assimilables. Dès lors, il est probable que le nombre des cas aberrants rencontrés dans l'étude de la corrélation entre les augmentations de rendement et la teneur en P du sol par exemple, aurait été réduit plus encore. Pour juger objectivement, il est nécessaire d'apporter autant d'application à l'interprétation de l'analyse du sol qu'à l'interprétation de l'analyse foliaire.

En procédant par analogie, on peut dire que la connaissance des conditions du milieu, en particulier climat et caractères du profil pédologique, sont aussi indispensables, pour interpréter correctement une analyse chimique de sol, que la connaissance de la physiologie d'une plante est indispensable pour effectuer correctement l'interprétation de résultats foliaires.

FRANC DE FERRIÈRE (S. C. P. A., Mulhouse). — *Les 31 expériences étudiées ayant été effectuées la même année 1955 sur l'ensemble du territoire du Sénégal, a-t-on pu observer une influence du facteur pluviométrie, très différent entre la région Nord la plus sèche et la région Sud, la plus humide, sur les chiffres donnés pour le diagnostic foliaire de l'arachide ? Les irrégularités ne pourraient-elles s'expliquer par le fait que certaines cultures ont reçu davantage d'eau que d'autres ?*

R. — M. Ferrand remarque qu'il faut tenir compte du fait qu'il n'y a qu'un cas aberrant sur 30 et M. Ollagnier répond que l'intensité des réponses aux engrains est certainement influencée par la pluviométrie ; la croissance et la nutrition également. Les études faites n'ont pas encore permis de mettre clairement en évidence les relations entre pluviométrie et contenu de la feuille en éléments.

The influence of the soil on the development and the mineral composition of the Aleppo pine

by H. R. OPPENHEIMER

Agricultural Faculty of the Hebrew University, Rehovot, Israël.

A. INTRODUCTION

The Aleppo pine (*Pinus halepensis Mill.*) is the main forest tree used for afforestation in countries with scanty and irregular rainfall, as Israel, Tunisia and Algeria. It withstands prolonged drought and prospers even on badly eroded sites exposed to the torching sun-rays. In Palestine, it is found in natural forest associations only on soft lime-stones, as on Mt. Carmel, at Ramallah, to the North and Beth-Makhsir, to the West of Jerusalem. In afforestation, however, it adapts itself also to mediterranean « terra rossa » and to sandy soils. In contrast to this, forests of *Pinus halepensis* develop less easily on dolomitic and basaltic rocks, probably as a consequence of difficult penetration of their roots into hard and compact minerals. Also in the sand dunes of the coastal region, the tree often develops poorly.

When afforestation activities increased in Israel, i. e. after 1950 and the Aleppo Pine was introduced into new districts, it became soon apparent that the tree does not succeed just everywhere, as had often been believed. While poor results are often the consequence of unfavourable climatic, petrographic or silvicultural influences, like atmospheric drought, scanty rainfall, hard rock or insufficient preparation of the site, careless planting, etc. there may be also limits to its adaptability to extreme chemical or physical properties of the soil. While the recent monograph of soils, on which the Aleppo pine stocks in Spain, by Isasa (5) shows the high degree of its adaptability to calcareous and even saline soils, we are little informed about the reaction of the plant to such soil conditions which offer a high physiological and silvicultural interest and may, in certain cases, explain success or failure.

B. SOIL INFLUENCE

i. *An earlier experiment.* Our first attempt to investigate the influence of soils on the development of the Aleppo pine in nurseries was under-

taken in 1931. The results which were published in the journal "Gartenbauwissenschaft" (11), little read by foresters and plant ecologists, remained little known, and are, therefore summarized here. The seedlings were found to develop very satisfactorily in terra rossa and in little weathered Senonian chalk, while in a mixture of the latter with sand, development lagged behind and was very poor in a mixture of kaolin and sand. The most remarkable result was the fine development in the weathered Senonian soft limestone containing 81.3% carbonates. This result disclosed a remarkable adaptability of the Aleppo pine to a substrate of very extreme physical and chemical properties where most plants would be expected to show heavy symptoms of iron and manganese chlorosis. Development became poor only when the content of the carbonates attained 85.6% which was the case in the unweathered soft limestone of the Mount of Olives, Jerusalem. We wondered ever since, how the tree's roots could obtain from such a substrate sufficient potash the absorption of which would be supposed to obey Ehrenberg's "Kali-Kalkgesetz", i.e. to be hindered by high concentrations of calcium ions (*), and how its absorption of foodstuffs precipitated from solutions at high alkalinity could be explained, even if boron, iron, manganese were all present, but certainly not easily available.

2. *New experiments.* 23 years passed, before we found the opportunity to investigate the matter further. Meanwhile, foliar analysis had been shown to be a useful tool for the solution of problems of plant nutrition, and in cooperation with our late assistant, Dr. Lotte Heymann-Herschberg, we had recognized it as valuable for the appraisal of the nutritional status of citrus trees.

In March, 1954, a new experiment on the influence of soils on the development and mineral composition of Aleppo pines in a nursery was started at the Agricultural Faculty of the Hebrew University at Rehovot, and in the past winter, some collection of needles for analysis from plantations under various, favourable or unfavourable soil conditions, was undertaken. This experiment with seedlings planted in kerosene tins cut lengthwise was run for two years, and has now been discontinued, but not all the material has been analysed. The survey of needle composition from forests permits only a first insight into the nutritional behaviour of half-mature and mature trees. If, consequently, the character of the present communication is preliminary, it might yet arouse interest, since information about the nutritional behaviour of mediterranean pines is lacking. A comparison of the established data with those known of European pines, is added, to complete the picture.

The photographs of one year old seedlings (fig. 1 2, 3) shew the finest development in mountainous, more or less decalcified soils originated from terra rossa (TR1, TR2) or basalt (B). Also in loess soil (4) from the neigh-

(*) This antagonism was shown to exist in pines already by Fliche and Gran-deau (2) but is nowadays no more regarded as a law of general validity.

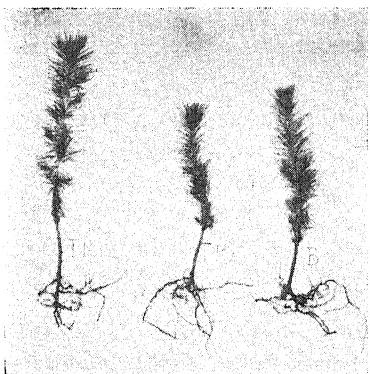


FIG. 1. — One year old Aleppo Pine seedlings grown in two types of terra rossa (TR₁; TR₂) and in a basaltic soil from Galilee.

to 17.4 on terra rossa, and a tendency to deterioration and death was obvious already during the first year, though some nitrogen-3 mg of mineral nitrogen per plant and year had been supplied to this and the other treatments.

In the second year, this process continued, and at its end, nearly all seedlings on dune sand had died, after developing symptoms of deficiencies, possibly of phosphorus.

In contrast to this, seedlings planted in high-carbonate, snow-white limestone powder, evinced a very definite improvement over their very poor performance of the first year. None died, and their growth now compared favourably with that of seedlings planted in the heavy soils of the mountains and in the sandy soil of the coastal plain. Evidently, an adaptation to the adverse conditions had taken place. The average height of the seedlings in the white limestone powder containing 86.5 % of calcium carbonate was now nearly 22 cm, as against 24.5 in terra rossa but they were even better than the latter in diameter, reaching an average of 4.8 mm, instead of 4.4, at their base. Also, their dry weight was found superior by 23 % to the seedlings in terra rossa.

bourhood of Beer Sheva, the seedlings developed remarkably well. On the other hand, in sandy soils from the coastal plain, lower in natural fertility, development was poorer, as one can see on the seedling marked by the letter "K" (Kurkar = sand rich in calcium carbonate) and the similar marked RS (red sand). In "M" (marl or rather a soft, powdery limestone), we see a sturdy, but short plant, while in "Ch", a white, unweathered chalk from Western Galilee, and in DS (dune sand), the development is decidedly poor: little new shoots and roots have been formed.

In the latter soil, the average height reached was only 12.5 cm, in contrast

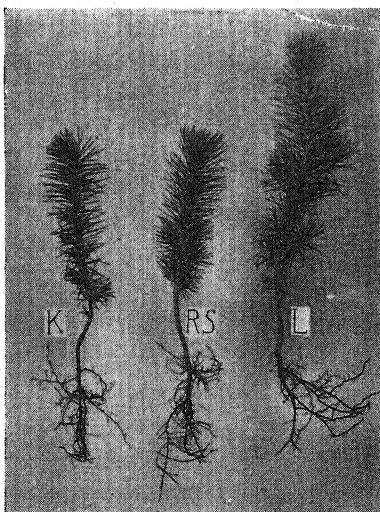


FIG. 2. — The same grown in "Kurkar" sand rich in limestone (K), red sand (RS) and loess (L) from southern Israël.

While the surprisingly great adaptability of the species to soft, unweathered limestones is by itself interesting, it seemed the more attractive now to investigate the influence of these and other soils of the experiment on the mineral composition of the needles. The latter was expected strongly to reflect the great diversity of soil conditions. This expectation, however, was not corroborated by the facts which rather point to a *stability of mineral composition*, in spite of widely diverging environments, and a far reaching analogy to what we know of other conifers, and especially Scots Pine and Corsican or Austrian Pine.

The following table 1 summarizes data on the composition of the needles of pines which have accumulated since the classical investigations of Fliche and Grandjeau (1877), over Dulk to our days, when A. Nemec, (N.), Leyton (L.) and Tamm (T.) study the mineral composition of pines.

Explanations. Double figures, with one in brackets, are the analytical results of two strongly different repetitions of the experiment, while single figures are the averages of two repetitions which rendered similar results.

Table 2 shows our own results with the Aleppo pine. The influence of the soil at the end of the first year seems negligible. After two years, the dry weight percentage of *potassium* was 0.32 % on terra rossa very poor in calcium, as against 0.27 % on chalk extremely high in this element. Corresponding figures for *Mg* were 0.17 as against 0.20 %. — *Calcium* was on the chalk by only one third higher : 0.9, as compared with 0.68 %.

TABLE 1
Mineral composition of needles of different pines (% of dry matter)

Species	Potassium	Calcium	Magnesium	Phosphorus
P. <i>silvestris</i> L. (N.)	0.46-0.65	0.35-0.81	0.10-0.23	0.10-0.31
dto. (D.)	0.31-0.67	0.21-0.45	0.05-0.11	0.08-0.23
dto. (T.)	ca. 0.9	0.29-0.36		0.18-0.20
dto. (L.)	0.64-1.46	0.19-0.41		0.07-0.21
P. <i>strobus</i> L. (N.) ..	0.20-0.55	0.26-1.08	0.09-0.16	0.08-0.32
P. <i>laricio</i> Poir. (Fl. et Gr.)	0.05-0.33	0.38-1.65	0.09-0.26	0.11-0.14
dto. (L.)	0.58-0.70			ca. 0.11-0.15

The data of the table have been collected in the cool-temperate climate of Europe from plants of very different ages growing under very different soil conditions. They seem useful, however, to show the range of intra-specific and intra-generic variation.

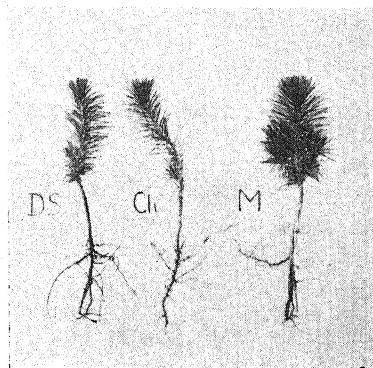


FIG. 3.—The same grown in dune sand (DS) and in two types of soft, powdery limestone (Ch; M).

TABLE 2

Mineral composition of seedling needles of the Aleppo pine grown in different soils, at the end of the first and of the second year (% of dry matter)

Age	Soil	Total ash	Potassium	Calcium	Magnesium	Phosphorus
1 year	Dune sand	3.74	0.41	0.43	0.15	0.066
	Lime-stone	3.6	0.47	0.39	0.16	0.147
	Terra rossa	3.2 (4.8)	0.49	0.30	0.13	0.104
2 years	Dune sand	7.8 (10.1)	0.28 (0.54)	2.1 (3.2)	0.41	
	Lime-stone	3.6	0.27	0.90	0.20	0.064
	Terra rossa	3.5	0.32	0.68	0.17	0.08 (.134)

This is a relatively small difference within the limits established by others for pines growing under cooler and moister conditions and in soils of a less extreme character.

While total ash was about 3.5 % in both soils and thus very similar to the well-known, relatively low figures found with similar pines in other countries, it was two to three times higher in the few surviving seedlings on dune sand which were also unusually high in calcium and magnesium. This probably reflects conditions of an abnormal, pathological character.

Potassium showed a pronounced tendency to decrease and calcium to increase with age, as shown by comparison of analyses of material collected at the end of the first and the second year, respectively. The former element decreased from about 0.5 % of dry matter to 0.3, while the latter increased in terra rossa from 0.3 to 0.68 % and in soft limestone (chalk) from 0.39 to 0.9 %. This tendency is well known from work published by Dulk on *Pinus silvestris* and by Fliche and Grandea on *Pinus nigra*. Mg shows a tendency to behave like calcium.

Our figures for phosphorus fall mainly into the range between 0.06 % and 0.16 % and are thus medium to low in comparison with the other pines where the range is between 0.08 % and 0.2 %, and higher. In the limestone powder, rich in carbonates, the two years old and beautifully developed seedlings had after two years' growth in the dry substance of their needles not more than 0.064 % P while after the first year, the P-content had appeared more normal for pines : about 0.15 %. This is probably a "dilution" effect : the phosphorus, possibly present in only small amounts and not easily available, drops to lower levels when synthetic activity and growth of the plant are on the increase.

3. *Results of the survey.* The results of the first survey of afforested sites will now be briefly discussed. The last season's needles were collec-

ted at the end of their short dormancy period in winter which, according to the results of Tamm with Scots pine (13), was considered as the most suitable season. They were stripped from branches in northern or north-eastern exposure, about two metres above the ground. Thus, we avoided, in this stage of a first orientation, climbing to the top of old trees, for sampling.

The results are similar to those obtained from the seedlings. Potassium was between 0.4 and 0.8% of the dry substance, with a certain trend towards higher figures on red sand low in calcium than on kurkar sand high in calcium, i. e. containing 18 to 47% calcium carbonate. On the latter, a surprising picture was obtained, when we found rather low figures of calcium, ranging between 0.32 and 0.52%, and sometimes, also magnesium ranged low, while in an adjacent locality, with little calcium in the soil, figures were more than twice as high. Possibly, this reflects pathological conditions, since the trees on kurkar were stunted and low and only slowly recovering from an originally chlorotic condition. Iljin (4) has shown for grapes, and Prevot and Ollagnier (12), for the oil palm (*Elaeis*) that iron chlorosis is often coupled with a high ratio K/Ca. This is the case also with these pines, but not because of high potassium, apparently characteristic of iron deficient plants, but of low calcium, as in Prevot and Ollagnier's experiments.

Mg-figures of the survey range between 0.16 and 0.35%, thus appearing normal to high. On the kurkar, relatively low figures (in 3 of 4 cases 0.16 to 0.17%) prevailed, and we should like to mention that we cultivate nearby, under the same soil conditions, a lemon tree which shows pronounced symptoms of magnesium deficiency.

The values of phosphorus of the seedlings' experiment are matched by similar figures of the survey, ranging between 0.094 and 0.20%. Trees from Shaar Haggai in the Judaean hills stocking on terra rossa were found low in phosphorus : about 0.1% of the dry substance. If this figure, possibly approaching the deficiency range, should mark conditions restricting growth, it would seem quite possible to consider fertilisation with phosphates which are available in southern Israel.

4. *Conclusions and discussion.* Summing up this preliminary report, we consider as its most remarkable result the far reaching adaptability of the Aleppo pine to substrates extremely rich in calcium carbonate. As Dr. J. Hagin, of our faculty has shown, soils of this character may render, by hydrolysis, p-H figures till 8.67, if tested in suspension in water five times their weight (3). The absorption of all essential nutrients under such highly alkaline conditions is probably made possible by a strong excretion of acids from the roots which we have shown to push their way through solid calcareous rocks of a soft or porous character.

The surprising stability of the composition of the needles should further be stressed. Genetic properties evidently determine the mineral composition of the needles much more than soil or even climate, and thus

it should be easy to determine standards for foliar analysis, while the expected large differences in the K/Ca ratio were absent. Apparently, the widespread belief that high calcium in the soil solution means low absorption of potassium, is far from being generally true. Mevius (9) who did not find indications of potassium deficiency in *Pinus maritima* grown with high calcium, cites Büsgen's work on *Sarothamus scoparius*. This author found that specimens grown either on limestone or, alternatively, on sand, hardly differ in their calcium-and potassium-contents. Lundegårdh (7) and Lundegårdh and Moravek (8), working with oats and wheat seedlings, resp., found no evidence of decreased potassium absorption with increasing concentration of calcium, in part of their experiments.

Finally, it might be asked if it would be justified to call the Aleppo pine "calciphilous". Its preference for limestone rocks and soils seems to justify such judgment, but the situation changes if we accept Truog's (14) ideas of "lime requirement". As a rule, this author finds high calcium in the living tissues of plant types needing much calcium which may consequently be considered as calciphilous. On the other hand, a high calcium content has been considered by Fliche and Grandea (2) as characteristic of *calcifugous* plants, and seems therefore valueless for the distinction of both groups. A calciphilous plant would thus best be defined as one which absorbs large amounts of calcium, without suffering damage, as many legumes. If this definition is accepted, we are *not* allowed to call the Aleppo pine calciphilous, since, as we were able to show, it absorbs relatively little calcium even from soils very rich in this element. In the absence of evidence that certain plants have a special predilection for calcium, it seems better to drop the term "calciphilous" altogether, and to speak instead of *calcium* or *limestone* *tolerant* in contradiction to *calcium* or *limestone* *intolerant* plant types. Within the tolerant group, we may then distinguish between plants absorbing much or little calcium, the latter "disdaining" it, so to speak. In such a system of plant behaviour to calcium, the Aleppo pine would then be termed a calcium tolerant and surpluses rejecting type. Its success on limestone hills must essentially be explained by its adaptability to alkaline soil reaction, offering it advantages over competing species, and its capacity to germinate and to grow on rocky habitats, especially if the rock is of a soft and porous character.

SUMMARY

1) Aleppo pine seedlings grown under nursery conditions in containers filled with different soils developed normally in all, except in dune sand. In soft, powdery limestone, with 86.5 % carbonate, development in the second year was excellent, after some delay in the first year.

2) Foliar analysis of healthy seedlings rendered the following figures (% of dry weight) : K — 0.27-0.54 ; Ca — 0.30-0.9 ; Mg — 0.13-0.20 ; P — 0.064-0.147. These figures are similar to those established by others for

European pines (see table 1), and fluctuations produced by soil differences surprisingly small. Especially the small variation in potassium, in spite of enormous differences in calcium, is remarkable.

3) A survey of needle composition in half-mature and mature plantations rendered similar results, also falling into the range known for other pine species.

4) The Aleppo pine is a limestone tolerant rather than a calciphilous plant type, rejecting surplus calcium.

Acknowledgment. The author is much indebted to Miss Alisah Halfon, M. Sc. (Agr.) for the execution of the analytical work (which was carried out with the methods in use at the Agricultural Research Station, at Rehovot).

BIBLIOGRAPHY

1. DULK, cited by NEMEC [10], not seen by the author.
2. FLICHE, P. et GRANDEAU, L. 1873. L'influence de la composition chimique du sol sur la végétation du Pin maritime (*Pinus Pinaster Soland.*). Ann. de Chim. et Phys., sér. 4, 29, 384-414.
3. HAGIN, J. 1952. The active lime content of soil as a factor in the development of chlorosis. Bull. Res. Councl. Israël, 2 (2), 138-146.
4. ILJIN, W. S. 1952. Metabolism of plants affected with lime induced chlorosis (calciose). III. Mineral elements. Plant and Soil 4 (1), 11-28.
5. ISASA, A. N. 1954. Suelos españoles del pino carrasco (*Pinus halepensis Mill.*). Min. Agr. Inst. forest. investig. y experiencias, Madrid, año 25, Num. 70.
6. LEYTON, L. 1954. The growth and mineral nutrition of spruce and pine in heathland plantations. Imp. For. Inst. Oxford.
7. LUNDEGÅRDH, H. 1932. Die Nährstoffaufnahme der Pflanze, Iena, p. 160-161.
8. LUNDEGÅRDH, H. and MORAVEK VI. 1924. Untersuchungen über die Salzaufnahme der Pflanzen. I. Mitteilung. Die gegenseitige Beeinflussung der Ionen. Biochem. Ztschr., 151, 296-309.
9. MEVIUS, W. 1921. Beiträge zur Physiologie « kalkfeindlicher » Gewächse. Jb. wiss. Bot. 60, 147-183.
10. NEMEC, A. 1948. Biochemie lesních dřevin, čast všeobecná. Chemicke složení organů lesních dřevin. Publ. Min. Zem. ČS. Ročník, 1948, svazek, 120.
11. OPPENHEIMER, H. R. 1933. Studien zur Keimung und ersten Entwicklung der Aleppokiefer und der Kermeseiche. Gartenbauwiss, 7, 308-364.
12. PREVOT, P. et OLLAGNIER M. 1954. Diagnostic foliaire du palmier à huile et de l'arachide. Colloque Analyse des Plantes et Probl. Fum. Minérales.
13. TAMM, O., 1955. Studies on forest nutrition I. Seasonal variation in the nutrient content of conifer needles. Meddelanden Statens Skogsforsknings Institut 45, n°s 5-6.
14. TRUOG E. Soil Acidity I. Its relation to the growth of plants. Soil Science, 5, 169-195.

DISCUSSION

BOUYCHOU (IFC/IRCI, Paris). — *Dans la région du Bas-Languedoc, il existe des peuplements importants de pins d'Alep. Les peuplements ont été très affectés par le gel de l'hiver 1955-56. Cependant, l'effet du gel a été différent suivant les emplacements. Y aurait-il une influence de la composition minérale du sol sur la résistance au gel ?*

Les terrains sur lesquels pousse le pin d'Alep dans le Bas-Languedoc (région de Carcassonne-Narbonne) appartiennent au lutétien et sont caractérisés par des calcaires et des marnes.

Température atteinte en hiver 1955-56 : — 17°.

OPPENHEIMER. — En Israël, les températures minimum atteignent en hiver — 5°C, et très rarement moins. Par conséquent, on n'a pas l'occasion d'observer des dégâts causés aux pins par le gel. Je suis donc incapable à contribuer à la solution de la question. Les différences, suivant les emplacements, ne seraient-elles pas provoquées par la topographie du terrain ?

Tropical soils and the chemical composition of plants

by W. S. ILJIN

Faculty of Agriculture, University central of Venezuela

INTRODUCTION

Marked variations among plants in the content of minerals may be shown by chemical analysis. As long ago as 1804, de Saussure observed that the composition of the ash differs if a given species is grown on different kinds of soil. Numerous analyses by de Wolf (1880) and subsequent investigators, using refined methods, confirmed de Saussure's observations regarding the influence of soil on the chemical composition of plants.

Such variations among plants are due both to internal and external factors, the soil with its different chemical and physical properties being one of the most important among the latter kind. This relation of plants and soils has always been of concern to the investigator. The chemical composition of a given species grown on different kinds of soils can exhibit greater differences than occurs between different species when all are grown on the same kind of soil. Weinhold (1862, 1864) took the extreme point of view that all species grown in the same locality have the same composition, but his own analyses do not support this conclusion. As will be evident later, however, this idea is supported to a degree by the findings with certain groups of plants.

Heinrich (1882) analyzed oat tissues of plants provided with different nutrient elements and found that there is a correlation between the nitrogen content of the roots and that of the soil. Later studies by Atterberg (1884, 1901), Helmkampf (1892), Godlewski (1902) Stahl-Schroeder (1904) and others, based on field and pot experiments, showed a correlation between the content of nutritive elements of plants and that of the soils. The majority of such studies were concerned with the three principal elements, nitrogen, potassium, and phosphorus. The aerial parts collected at time of flowering yield the closest correlation. In mature plants the elements are translocated from the vegetative organs to the reproductive parts or to the parts where reserves are stored. In this way, i. e. by translocation, the normal relation of elements within the vegetative organs may be upset or disturbed. In poor soils the roots may become impoverished rapidly as a consequence of translocation to the aerial organs. One of the main difficulties involved in analyses of roots is due to loss of elements

resulting from washing the roots to remove the soil, and in addition there is a loss of young roots during this process, old mature roots being less active than young ones in the absorption of minerals.

In recent years more and more evidence has been accumulated regarding the influence of soil on the chemical composition of plants. The application of fertilizers to the soil changes both the mineral and organic content of plants. A large body of information on this matter is assembled in a report of the Colloquium "Plant Analyses and Fertilizer Problems" published from papers given at the VIII International Botanical Congress. Lundegårdh (1939, 1941) made extensive studies of the composition of plants as related to soil types, and concluded that the specific requirements of a given species can be determined only from analyses of the plant. Clements et al. (1940, 1942, 1953) investigated the relation between sugar cane and soil. Prevot and Ollagnier (1951, 1953, 1954) made similar detailed studies with peanuts, palms, and other plants. The accumulation of salts in trees to which fertilizers were applied was studied by Tam (1954). The accumulation of potassium in coconut "milk" was noted by Salgado (1954). The publications of Jacobs (1929), Lagatu (1940), Maume (1944), Thomas (1945) and others, using "foliar diagnosis" deal with the absorption of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, and magnesium. The experiments of the author (1950, 1952, 1954) in Venezuela, using various species, showed a marked increase in content of nutrient elements of plants given applications of fertilizers. For example, the nitrogen content of guinea grass when fertilized was increased from 0.69% to 1.71%, and that of phosphorus from 0.121% to 0.224%.

The accumulation of nutrients in plant tissues depends not alone on their concentration in the soil. If the accumulation of an element exceeds a certain limit there may be a toxic effect or other abnormal metabolic response. In this connection the micro-elements produce distinctive effects. Rice which received an excess of nitrogen behaved abnormally (Iljin, 1955). One element may favor or inhibit the accumulation of another one. Such reciprocal interaction of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, and magnesium, especially that between magnesium and potassium was shown by Chapman et al (1953). Ferrand (1954) and others have confirmed these results. Williams (1953), as a result of applying phosphorus to the soil, increased the calcium content of the plant from 0.12% to 0.48%. Prevot and Ollagnier (1954) noted a definite relation between the phosphorus content and nitrogen content of oil palm. Other investigators have confirmed this relationship when these two elements are taken up by the roots of various plants.

The author (Iljin, 1928) also noted that certain cations may inhibit permeability to potassium. This phenomenon has been called antagonism, and has been widely studied and used to explain the reciprocal action of ions in plant nutrition and in the absorption of nutrient elements by roots. Thus Shear et al. (1946, 1948) observed that plants may exhibit deficiency symptoms, even when the elements are very abundant in the soil or when

unfavorable relations of elements in the soil exist. Moreover such reciprocal action may be revealed not only by antagonism but also certain ions may favor the permeability of others. The increase in permeability of potassium may be increased as much as 50% (Iljin, 1928).

Another favorable effect of one element on the accumulation of another one in a plant is not connected with protoplasmic permeability. The application of nitrogen alone to a red, lateritic soil did not result in appreciable increase in growth nor in accumulation of nitrogen in the tissues. But the additional application of phosphorus and potassium stimulated growth of tops and roots (Iljin 1954, 1955). The roots were more extensive and made greater use of the nitrogen. The quantity of nitrogen available per unit of root surface and its concentration in the tissues were increased significantly. This phenomenon is in no way connected with antagonism.

The reaction of the soil constitutes an important factor in the absorption of the elements. Red, lateritic soils are more or less acid. Their pH depends upon the solubility of the nutrient salts and their absorption. The change in solubility of certain heavy elements, as copper, iron, zinc, manganese, aluminium, centers around pH 6.5. At a higher pH these elements are only slightly soluble but at a pH of 5 to 4 their concentration becomes toxic. A high acidity induces the deterioration of the soil and of roots. According to Jacobson et al. (1950) a low pH not only inhibits absorption of mineral salts but stimulates their loss from the roots; thus potassium is not absorbed except from solutions of pH 4.5. Various ions and substances may be lost and in consequence dry weight may be decreased.

Numerous analyses of red, lateritic soils, in Venezuela, made by the Division of Soils, Center of Agricultural Research, show that their pH ranges from 5 to 4, and may be as low as 3.4. These pH values are within the toxic range as shown by the results of Jacobson et al. (1950). Both external and internal factors induce variations in tissue content of elements and organic substances. Age of tissues and rate of growth are major internal factors. Certain elements as nitrogen, potassium and phosphorus abound in young tissues. With age their concentration is decreased. Thus in young Sorghum one finds 3.02% of nitrogen and in adult plants 0.53% to 0.29%. During the formation of new tissues, nitrogen potassium and phosphorus accumulate in the meristematic regions. Moreover the nutritive elements in a growing plant are utilized very rapidly during the formation of new tissues, are translocated throughout the plant and do not accumulate in large concentrations. When growth is rapid the application of salts does not stimulate increased percentage accumulation within the tissues but, on the contrary, when growth is retarded the content of salts increases.

In Venezuela, very large variations in the content of nutritive elements and organic substances have been noted, depending both upon external and internal factors. In the following tables the author presents certain of these findings. The content of the principal elements, as pure elements, not as oxides, calculated on dry weight, is shown in table I.

These analyses deal with the aerial parts-leaves and stems-of adult plants, taken immediately prior to flowering. The content of the principal organic substances is presented in table II.

TABLE I

Variations in content of nutritive elements in plants based on dry weight

Species	Nitrogen %	Phosphorus %	Calcium %	Magnesium %	Potassium %
Sorghum sp.	0.29-3.06	0.07-0.42	0.17-0.57	0.16-0.51	0.62-3.59
Panicum maximum	0.66-2.17	0.11-0.44	0.30-0.85	0.16-0.35	0.85-3.12
Paspalum virgatum	1.07-2.52	0.22-0.30	0.38-0.66	0.32-0.59	1.23-4.15
Panicum purpurascens	0.58-2.34	0.10-0.41	0.23-0.81	0.12-0.35	1.52-3.58
Cajanus indicus	2.63-4.32	0.12-0.44	0.52-0.96	0.17-0.31	1.04-2.61
Medicago sativa	1.75-3.49	0.23-0.40	1.10-2.22	0.25-0.45	1.75-2.60
Pueraria phaseoloides	1.07-3.78	0.07-0.43	0.50-1.03	0.16-0.41	1.07-2.40

TABLE II

Variations in content of organic substances in plants based on dry weight

Species	Dry material %	Crude protein %	Crude fats %	Carbohydrates %	Crude Fiber %
Sorghum sp.	7-44	1.8-18.9	1.9-4.9	12.4-38.9	15-39
Paspalum virgatum	8-22	6.7-15.6	2.2-4.9	17.8-24.2	16-21
Panicum maximum	15-32	4.1-13.4	1.8-4.8	13.1-26.2	28-32
Panicum purpurascens	16-34	3.6-14.5	2.1-6.0	16.4-27.4	24-32
Tajanus indicus	21-29	16.4-27.0	4.1-8.4	6.6-19.3	21-34
Teramnus uncinatus	19-27	15.4-27.8	4.0-5.6	11.6-14.5	15-26
Pueraria phaseoloides	19-36	6.7-23.6	2.8-6.4	8.8-17.5	25-28
Clitoria tornatea	16-20	19.0-30.0	2.0-7.7	11.2-15.0	17-23

It may be seen that considerable variation occurs in content of elements and organic compounds in the different species of plants, even though the climatic factors were quite similar, the soils being different. The range of variation was established by making numerous analyses. Considerable effort was made to determine the amounts of nitrogen, phosphorus, and potassium essential for best growth. In the case of Sorghum, an enormous variation in content of nitrogen was found, ranging from 0.29% the lowest amount, to the largest 3.06%, which is approximately a proportion of 1 : 10. The largest content of phosphorus and of potassium were nearly 6 times that of the smallest amount found. Calcium and magnesium ranged in amount in a proportion of approximately 1 : 3. The range of variation in the other grasses was somewhat less, that of Panicum purpurascens approximating 1 : 4 for nitrogen, phosphorus and calcium, with a narrower ratio for magnesium and potassium.

The content of nitrogen in legumes showed a range between the smallest and largest amounts of 1 : 2 to 1 : 3, that of phosphorus 1 : 4 or 1 : 5, and that of the other elements approximately 1 : 2.

Considerable variation in organic substance was noted even in the same locality. For example, very young Sorghum had a dry weight of 7 %, 93 % being water, but with age the dry weight became as much as 44 %. Such change in dry weight could occur rapidly or slowly. Similar differences between young plants and older ones in dry weight of samples of *Paspalum virgatum* and *Panicum maximum* were found, being 8 to 22 % in the former and 15 to 32 % in the latter.

The content of nitrogenous substances (crude protein) varied greatly as did the content of nitrogen. In the case of Sorghum the amounts of crude protein ranged from 1.8 % to 18.9 %. The range was wider in the other grasses and in the legume *Pueraria phaseoloides*.

The fat content generally is greatest in well developed plants. Those plants to which fertilizers were supplied have the greatest amount of lipoidal material, it being increased to 2 or 3 times thereby.

The monosaccharides, disaccharides, starch, and hemi-celluloses were determined separately but are shown together in the tables as total carbohydrates. The carbohydrates do not vary in amounts as much as do the other compounds. Sorghum and *Cajanus indicus* exhibited the largest differences. Generally low carbohydrate content is correlated with good growth of the plant and with a high content of protein.

Young plants exhibited wide variation in crude fiber but as the plants matured the percentage of cellulose tended to become stable.

Since the foregoing data show such wide differences in chemical composition of a given species which may be used as feed for animals, it is evident that careful attention should be given to the entire matter of the composition of such feeds, as related to the external and internal factors that affect the plants during their growth.

INFLUENCE OF THE SOIL

Some investigators have concluded that an analysis of the plant grown on a given soil better determines the presence of available elements than on analysis of the soil. Seelhorst expressed this opinion in 1898 after making numerous experiments with plants grown in pots, using 24 different soils, to which 8 different fertilizers were applied, in a series of 192 treatments. As judged by determination of their content of nitrogen, phosphorus, and potassium, Seelhorst et al. (1898) found that an intimate correlation exists between the soil and the plant, and that an analysis of the plant is a measure of the nutritional value of the soil. Later studies confirmed these conclusions (Ames 1910, Loehwing 1928, Emmert 1931, Lagatu 1940, Boynton 1942, 1953, Wallace 1928, 1942, and others). Lundegårdh (1934) made extensive studies on the chemical composition of the soil, subsoil, and of the plants grown on the soil, and came to the conclusion that the chemical composition of the plant is the best means of determining the amounts of available elements in a soil. However, a given species in a given locality

may have significant differences in composition of nutrient elements, as shown by Hall (1905). He made numerous analyses, in England, of plants grown in the field, and in pots, and noted such marked differences that he concluded that an analysis of the plant can not be used to indicate the chemical composition of a soil. Similary Münter (1919, 1920) noted marked seasonal differences in the nutritive elements in wheat and in beets. Analyses of grape leaves, during four seasons, in one locality in Austria, made by the author (Iljin 1943, 1948), show that the content of elements and organic compounds is related to the age of the leaves. The absolute values vary from year to year but the variations have a limited range and, when plotted, show the same type of curve.

The data by Nearpass et al. (1948), Sitton et al. (1954) and Neff et al. (1954) show a positive correlation between the available elements of the soil and those absorbed by the plant. But Nearpass and Drosdoff (1952), on the basis of many analyses of different soils, concluded that the correlation is not evident unless expressed as millequivalents of the weight of the soil and of the plant, after having calculated the percentage of available elements to effect saturation. These results were confirmed by Sitton et al. (1954).

An analysis of the plant can be used to measure the fertility of the soil when the nutritive elements are scarce. This is evident in the tropics when comparative analyses are made of a given species grown on a very infertile, red, lateritic soil with those of the same species grown on a much more fertile gray alluvial soil. On the latter, the crop is of better yield and better chemical composition. The comparative yields of certain crops on two types of soil are shown in table III.

TABLE III

Dry weight of vegetative tissues in Kg/Ha on soils of differing fertility

Species	Red lateritic soil	Gray alluvial soil
<i>Sorghum vulgare</i>	6,032	18,934
<i>Panicum maximum</i>	4,982	12,100
<i>Molinis minutiflora</i>	5,825	12,000
<i>Pueraria phaseoloides</i>	3,265	5,258

These results show a marked difference between the two kinds of soils. Sorghum produced about three times as much vegetation on the gray, alluvial soil as on the red, lateritic soil, whereas the yields by the other species were about twice as large. Different species do not respond equally on a given soil and moreover red, lateritic soils are not alike in fertility. For example, a crop grown on a red, lateritic soil, low in fertility and cropped for the first time, gave a greatly increased yield when fertilized. A crop of *Dolichos lablab*, not receiving any fertilizer, yielded 652 kilograms of dry material per hectare as compared with a yield of 8.525 kilograms per hectare,

a quantity almost 13 times greater, when a complete fertilizer including micro-elements was applied.

Similar increases with other crops grown on the same field are shown by the data in the upper portion of Table IV. It may be noted that Guinea grass, *Panicum maximum*, on unfertilized plots, yielded only 563 kilograms per hectare, whereas the plots given limited amounts of fertilizer yielded 2,700 kilograms per hectare and those given an adequate amount of complete fertilizer yielded 9129 kilograms per hectare. *Leucaena glauca* when given fertilizer lacking phosphorus produced a yield 1.3 times that of unfertilized plots but when given a complete fertilizer the yield was 1.6 times larger.

TABLE IV

Dry weight of tissue in Kg/Ha on red, lateritic soil, with and without added fertilizer

Species	Not fertilized	Fertilized	Ratio
<i>Dolichos lablab</i>	632	8,525	1 : 13
<i>Centrosema pubescens</i>	600	4,349	1 : 7
<i>Leucaena glauca</i>	1,074	1,300	1 : 1.3
" "	1,074	3,640	1 : 3.6
<i>Panicum maximum</i>	563	2,700	1 : 5
" "	563	9,127	1 : 16
<i>Molinis minutiflora</i>	1,049	2,987	1 : 2.8
<i>Sorghum vulgare</i>	6,032	19,539	1 : 3.2
<i>Panicum maximum</i>	4,982	13,455	1 : 2.7
<i>Pueraria phaseoloides</i>	3,265	5,022	1 : 1.5

Some species respond to a greater degree to the application of fertilizer than do others. This fact is shown by the data in the lower part of table IV, prepared from experiments made near San Carlos in the State, Cojedos. *Pueraria phaseoloides* responded least to the application of fertilizer. The amount of response depends also upon the level of fertility of the soil, the response being greatest in the less fertile soils.

Crops grown on red, lateritic soils are uneconomic, not yielding sufficiently to pay for the cost of production unless fertilizers are applied. Nevertheless the vast areas in Venezuela having red, lateritic soils can be made useful for agriculture if they are fertilized.

From an ecologic point of view species grown on the same soil do not differ greatly in chemical composition. This similarity is evidenced by certain forage grasses and legumes. It is best shown by analyses if such plants are at the same stage of development. The author collected his materials just prior to flowering. The data presented in Table V were taken from grasses and legumes grown on a gray, fertile, alluvial soil near El Limon in the State, Aragua. Analyses were made during several years of the crops, which were in each instance in quite the same state of development. Determinations were made of amino acids, amid nitrogen, and protein nitrogen but the nitrogen fraction is reported as total nitrogenous materials. The

determinations also included fats, carbohydrates (as mono-and disaccharides, starch and hemicellulose), and mineral salts, shown as total minerals in Table V. The legumes were noted to contain a greater amount of phosphorus and calcium than the grasses. The amounts of total nitrogen and total salts were quite alike among the different legumes. The differences in amounts among the species did not exceed the variation found to exist within a given species. For example, the crude protein content of *Clitoria tornatea* varied between 19.0 % and 30. %, and that of *Soya max.* between 23.8 % and 27.4 %.

TABLE V

The content of nitrogenous compounds and of nutrient salts of legumes grown on a gray alluvial soil

Species	Crude protein as dry weight, %	Nutritive salts, as dry weight, %
<i>Indigofera subulata</i>	19.5	4.39
<i>Centrosema pubescens</i>	20.0	3.88
<i>Stizolobium aterrinum</i>	20.3	4.09
<i>Medicago sativa</i>	21.8	4.01
<i>Pueraria phaseoloides</i>	23.6	4.05
<i>Dolichos lablab</i>	24.0	3.94
<i>Clitoria tornatea</i>	24.2	4.33
<i>Desmodium purpureum</i>	24.3	4.20
<i>Indigofera hirsuta</i>	26.1	4.38
<i>Soya maxima</i>	26.1	4.48
<i>Cajanus indicus</i>	26.2	4.24
<i>Crotalaria juncea</i>	26.9	3.74
<i>Vigna vexillata</i>	26.9	3.96
<i>Vigna luteola</i>	27.2	3.98
<i>Tephrosia cinerea</i>	27.7	3.87
<i>Teramnus uncinatus</i>	27.8	4.09

Any given species had a different chemical composition when grown on a gray, alluvial soil. The comparative analyses of several crop plants grown on these two types of soil are shown in Table VI.

Cajanus indicus was found to have a crude protein content of 26.6 % on the gray alluvial soil and 16.5 % on the red, lateritic soil. A similar difference is shown by *Crotalaria juncea*. *Pueraria phaseoloides* however had a content of 20.5 % and 11.9 % when grown on the gray, alluvial soil and the red, lateritic soil, respectively. The differences in crude protein on these two soils were considerably less in the case of *Centrosema pubescens* and *Dolichos lablab*.

In the case of the plots seeded to *Panicum purpurascens* and *Panicum virgatum*, certain of these were enriched with manure and the grasses grown on these plots had a high content of crude protein that of *P. purpurascens* being 14.6 %, a very high content for a grass. The crude protein content of this same species on normal alluvial soil was 9.6 %, on gray, lateritic soil 6.2 %, and on red, lateritic soil 2.8 %. Similar differences were shown to occur in *Panicum virgatum* on these three soil types, the values being 15.0 %, 9.6 %, and 6.8 %, respectively. *Panicum maximum* grown on

TABLE VI

Comparative biochemical analyses of plants grown on alluvial soil and on red lateritic soil

Species	Soil type	Crude protein %	Crude fat %	Carbohydrates %	Potassium %	Calcium %	Phosphorus %	Magnesium %
<i>Panicum purpurascens</i>	Alluvial with manure	14.4	4.8	21.1	3.47	0.60	0.28	0.31
	gray alluvial	9.6	3.2	24.0	3.00	0.52	—	0.32
	gray lateritic	6.2	2.3	25.0	1.75	0.62	0.22	0.26
	red lateritic	2.8	2.0	20.0	1.75	0.44	0.10	0.23
<i>Paspalum virgatum</i>	Alluvial with manure	15.0	4.5	21.7	4.12	0.62	0.23	0.61
	gray alluvial	9.6	2.9	18.6	2.70	0.60	0.22	0.32
	red lateritic	6.8	2.0	17.1	1.31	0.49	0.12	0.51
<i>Panicum maximum</i>	gray alluvial	10.6	2.3	16.7	1.63	0.85	0.23	0.28
	red lateritic	4.8	2.3	22.2	0.90	0.79	0.12	0.25
<i>Cajanus indicus</i>	gray alluvial	26.6	6.7	12.7	2.40	0.80	0.40	0.18
	red lateritic	16.5	4.3	9.0	1.16	0.61	0.12	0.07
<i>Crotalaria juncea</i>	gray alluvial	26.9	—	12.0	1.52	1.13	0.48	0.46
	red lateritic	16.1	—	7.8	1.47	0.48	0.11	0.27
<i>Pueraria phaseoloides</i>	gray alluvial	20.5	4.6	14.4	2.20	0.83	0.40	0.27
	red lateritic	11.9	4.1	13.8	1.30	0.72	0.11	0.10
<i>Centrosema pubescens</i>	gray alluvial	20.0	3.4	11.4	1.40	1.13	0.33	0.22
	red lateritic	16.1	—	—	1.24	1.50	0.10	0.15
<i>Dolichos lablab</i>	gray alluvial	24.0	5.1	11.4	2.17	1.50	0.32	0.22
	red lateritic	20.5	—	—	1.87	1.87	0.12	0.15

alluvial soil to which nitrate had been applied had approximately twice as much crude protein as when grown on red, lateritic soil.

The influence of these two types of soils on the content of mineral elements within the plants was also studied. As regards the phosphorus content of grasses, it approximated 0.1% when they were grown on the red, lateritic soil and 0.2% when grown on the more fertile soil. The phosphorus content of the four legumes however when grown on alluvial soil is shown to be 0.40%, 0.48%, 0.32% and 0.33%, respectively as compared with about 0.1% when grown on the red, lateritic soil. These results show that the red, lateritic soils of Venezuela respond well to the application of phosphorus.

In certain cases there occurred large differences in the magnesium content of plants, as between those grown on gray, alluvial soil and on red, lateritic soil. With *Dolichas lablab* these values were 0.25% and 0.04%, respectively, with *Cajanus indicus* 0.18% and 0.07%, respectively, and with *Pueraria phaseoloides* 0.27% and 0.10%, respectively. The differences in magnesium content of grasses were less pronounced, being 0.32% and 0.23%, respectively for *Panicum purpurascens*, and 0.28% and 0.25%, respectively, for *Panicum maximum*. An absolute value for magnesium content, which is regarded as more or less normal in Venezuela, ranges from

0.2% to 0.3% on a dry weight basis, hence some of the values shown, in the table, being below this range, are regarded as too low.

The availability of calcium also is more or less a limiting factor in the red, lateritic soils. The content of calcium in the soil and its availability to plants is related to pH. The pH of the red, lateritic soils is lower than that in alluvial soil and for this reason plants on the former soils have a lower calcium content.

The accumulation of potassium throughout plants grown on red, lateritic soils seems to be limited to a marked degree. Most species show much less potassium than when grown on alluvial soils. The values for *Cajanus indicus* are 2.40% and 1.16%, when grown on alluvial soil and on red, lateritic soil respectively, and the differences are of the same proportion for *Paspalum virgatum*. The differences in potassium content are not so large in the other species. The age of the plants was found to be of most importance in conditioning the potassium content. As an internal factor in general, the production of proteins, fats, and pigments, is favored by fertile soils, although the carbohydrate content is dependent in large measures upon transformations involving growth and the formation of proteins and lipids, because the carbohydrates supply the energy used for these transformations.

PRODUCTIVITY OF THE SOIL

The percentage of elements found present in plants by chemical analyses is not a sufficient measure of the fertility of the soil on which these plants were grown. The greater absorption of elements from a fertile soil may stimulate growth and be favorable for the production of more vegetation but without increase in the percentage accumulation within the tissues. In fact percentage increase of a given element within a plant grown on a fertile or well fertilized soil may be slightly greater, may not be any greater, or may even be lesser. On the other hand, a stoppage of growth may result in the accumulation of certain elements, as occurs if certain nutrients are in ample supply and there is a deficiency of others.

In determining the availability of nutrients in potted plants or those grown in solution cultures, in general, the results of analyses are calculated on the basis of the total mass of tissues. But in field experiments it is necessary to take into consideration in the calculations the total mass of vegetation of the crop, and all the substances and nutritive elements, as based on the land area on which the plants are grown.

In the following experiments as shown in Tables VII and VIII, all of the aerial parts were used in determining the dry weight, and the analyses of substances and mineral elements of these parts were calculated to express them on a per hectare basis. Such data show clearly that the gray, alluvial soil is more fertile than the red, lateritic soil. As previously indicated, the total yield on gray, alluvial soil is 2 to 3 times larger and even up to 15 times larger than that on red, lateritic soil. The author (Iljin 1952, 1955)

showed this fact previously, and it is verified in Table VII. The content of proteins, carbohydrates, fats, and fiber is shown to be greater on the more fertile soil, so that both absolute amount and percentage of organic substances may be greater on the more fertile soil. In the same way, amount of mineral salts absorbed by plants, as shown in Table VIII, differs greatly.

TABLE VII

Comparative yield of organic materials of crops grown on gray alluvial soil and on red lateritic soil.

Species and soil	Yield Kg/Ha	Crude Protein Kg/Ha	Carbo- hydrates Kg/Ha	Crude Fiber Kg/Ha	Crude Fat Kg/Ha
<i>Sorghum vulgare</i>					
gray alluvial	18,634	636	7,300	6,040	782
red lateritic	6,032	169	2,050	1,950	133
<i>Panicum maximum (Guinea)</i>					
gray alluvial	12,100	617	2,537	3,737	278
red lateritic	4,982	212	1,100	1,444	115
<i>Milinis minutiflora</i>					
gray alluvial	12,000	1,100	2,640	3,600	360
red lateritic	5,825	395	1,035	1,742	134
<i>Pueraria phaseoloides</i>					
gray alluvial	5,258	920	810	1,372	147
red lateritic	3,265	392	712	1,061	120

TABLE VIII

Comparison of amounts of nutritive elements in crops grown on gray alluvial soil and on red lateritic soil

Species and soil	Nitrogen Kg/Ha	Phospho- rus Kg/Ha	Potassium Kg/Ha	Calcium Kg/Ha	Magne- sium Kg/Ha
<i>Sorghum vulgare</i>					
gray alluvial	102	26	198	55	55
red lateritic.....	29	7	80	20	13
<i>Panicum maximum (Guinea)</i>					
gray alluvial	99	28	197	103	34
reed lateritic.....	34	6	45	39	12
<i>Milinis minutiflora</i> :					
gray alluvial	176	19	153	29	22
red lateritic.....	63	13	72	7	10
<i>Pueraria phaseoloides</i>					
gray alluvial	147	21	116	44	14
red lateritic.....	63	3.6	42	24	3
<i>Centrosema pubescens</i>					
gray alluvial	139	14.4	61	49	10
red lateritic.....	16	0.6	7	9	1
<i>Dolichos lablab</i>					
gray alluvial	326	27	185	148	21.4
red lateritic.....	21	0.7	12	7	0.25

From the more fertile soil *Sorghum vulgare* absorbed 102 kilograms of nitrogen per hectare and 29 kilograms per hectare from the poorer soil. Corresponding amounts absorbed from these two soils by *Panicum maximum* were 99 and 34 kilograms per hectare, respectively, by *Centrosema pubescens* 139 and 16 kilograms per hectare, respectively, and for *Dolichos lablab*, 326 and 21 kilograms per hectare, respectively. Also limited amounts only of other elements were accumulated. *Sorghum* contained 26 kg/Ha of phosphorus in the alluvial soil and 7 kg/Ha in the red soil; the respective contents of potassium were 198 and 80 Kg/Ha; of calcium 55 and 20 Kg/Ha; and of magnesium 55 and 13 Kg/Ha. Similar proportions in absorption of these elements were shown by the analyses of *Melinis multiflora*, *Panicum maximum*, and *Pueraria phaseoloides*. But there were especially large differences in the field near El Limon, having a very poor soil. Here *Centrosema* absorbed only 16 Kg/Ha, whereas from the alluvial soil this crop absorbed 139 Kg/Ha, almost 9 times as much, under these conditions. The amounts of phosphorus absorbed by this species were 0.6 and 14.4 Kg/Ha, respectively, of potassium 7 and 61 Kg/Ha, respectively, and of magnesium 0.9 and 9.5 Kg/Ha, respectively. The values for differences in amounts of elements absorbed by *Dolichos lablab* show, in this same table (Table VIII), strikingly that 16 times less nitrogen and potassium are absorbed from the red soil than from the gray, alluvial soil, 21 times less calcium, 36 times less phosphorus, and 85 times less magnesium.

The limited absorption by plants of nutritive salts from red, lateritic soil depends upon the paucity of these salts in such soil and upon the poor development of roots. The application of certain elements can stimulate the growth of roots and in this way increase the amount of root surface in contact with the soil, and the availability of elements present in small amount. Thus the application of phosphorus stimulates the growth of the plant and its roots and increases the availability of nitrogen and other elements. This matter will be discussed in another report.

RÉSUMÉ

Determinations have been made of yield and chemical composition of plants grown on gray, alluvial soil and on red, lateritic soil. Analyses were made to determine their content of phosphorus, calcium, potassium, magnesium, nitrogen, proteins and their derivatives, fats, sugars, starch, hemicellulose and fiber. The content of organic compounds and mineral elements varied widely in a given species, especially in the amounts of the principal elements, nitrogen, phosphorus, and potassium. These variations were correlated with both internal and external factors, age of tissues, and kind of growth being very important internal factors, and soil type being the primary external factor. The differences in given species grown on the different soils were greater than those between different species grown on

the same soil. Species similar in ecology and in the same family varied within definite limits in chemical composition.

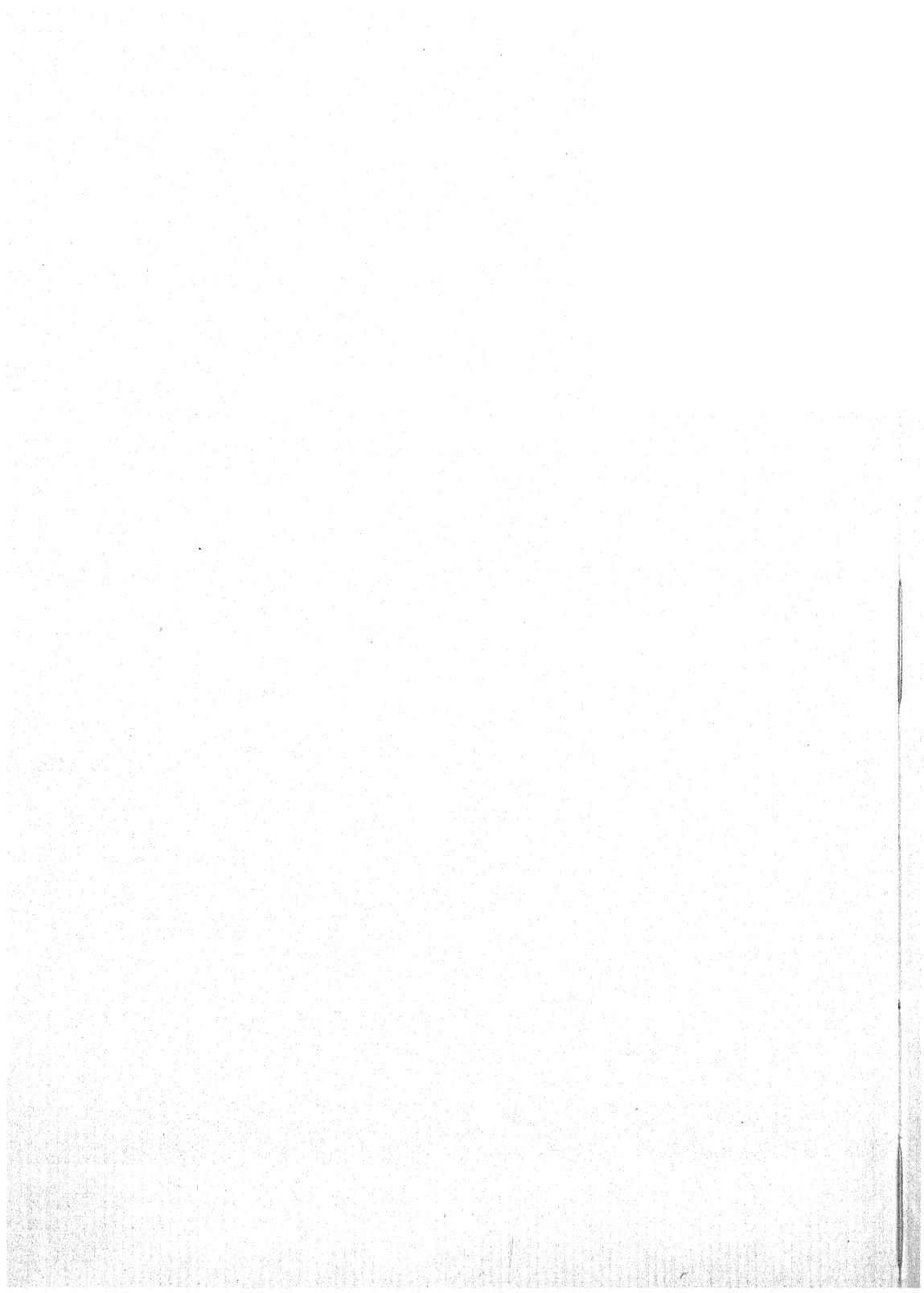
Plants grown on red, lateritic soil had much less nitrogenous substances and phosphates than those grown on gray, alluvial soil. Their content of potassium and frequently of calcium and magnesium was also less. In general, the formation of organic compounds, important for metabolism, is favored by soil of the better fertility. The percentage content of nutrient elements accumulated in plant tissues is not a sufficient criterion for measuring the fertility of the soil on which the plant was grown. A low percentage of a given element within plant tissues does not always indicate that the element is non-available to the plant. Crop yield together with amount of elements absorbed per unit of area of the field are the best measure of soil fertility. The gray, alluvial soil was capable of producing 2, 3, 5, 7, and 15 times more vegetation than the red, lateritic soil. The formation of organic material and the accumulation of nutritive elements takes place to a greater extent in plants on the former soil than on the latter.

LITERATURE CITED

1. ATTERBERG, A. 1886, 1887. Die Beurtheilung der Bodenkraft nach der Analyse der Heiferpflanze. *Landwirtsch. Jahrb.* 15 : 415-419 ; 16 : 757-761.
2. AMES, J. W. 1901. Die Variationen der Nährstoffgehalt bei dem Hafer. *Jahrb. Landwirtsch.* 49 : 97-172.
3. — 1910. The composition of wheat. *Bull. Ohio Agr. Exp. Sta.*, 221 : 1-37.
4. BOYNTON, D. 1942. Progress toward a more scientific basis for orchard fertilization. *Proc. N. Y. St. Hort. Sci.* 87 : 192-198.
5. BOYNTON, D. and COMPTON, O. C. 1953. Leaf analysis en estimating the K, Mg and N needs of fruit trees. *Soil Sci.* 59 : 339-351.
6. CLEMENTS, H. F. 1940. Integration of climate and physiologic factors with reference to the production of sugar cane. *Hawaiian Planters' Record.* 44 : 201-233.
7. — 1953. Crop logging of sugar cane - principles and practices. *I. S. S. C. T. Proceeding 8th Congress.* 79-97.
8. — and MORIGUCHI, S. 1942. Nitrogen and sugar cane. The nitrogen index and certain quantitative field aspects. *Hawaiian Planters' Record.* 46 : 163-190.
9. DROSDOFF, M. 1954. Role of leaf analysis in fertilization of tung trees. *Analyse des Plantes et Problèmes des Engrais minéraux.* Paris, 7 : 181-130.
10. EMMERT, E. M. 1931. The effect of soil reaction on the growth of tomatoes and lettuce and on the nitrogen, phosphorus and manganese content of the soil and the plant. *Bull. Kent. Agr. Exp. Sta.* 314 : 1-83.
11. FERRAND, M. 1954. L'analyse des plantes et la pratique agricole. *Analyse des Plantes et Problèmes des Engrais minéraux.* Paris, 1.
12. GODLEWSKI, E. 1902. Über das Nährstoffbedürfnis einiger Kulturpflanzen und über die Abhängigkeit der Zusammensetzung der geernteten Pflanzensubstanz von der chemischen Beschaffenheit des Boden. *Zeitschr. landwirtsch. Vers. Wes. Oester.* 4 : 479-536.
13. HEINRICH, R. 1882. Grundlagen zur Beurteilung der Ackerkrume in Beziehung auf landwirtschaftliche Production.
14. HELMKAMPF, A. 1892. Untersuchungen über die Feststellung des Dungungsbedürfnisses der Ackerböden durch die Pflanzenanalyse. *Jahrb. Lanwirt.* 40 : 85-181.
15. HALL, A. D. 1905. The analysis of the soil by means of the plants. *Jour. Agr. Sci.* 1 : 65-88.

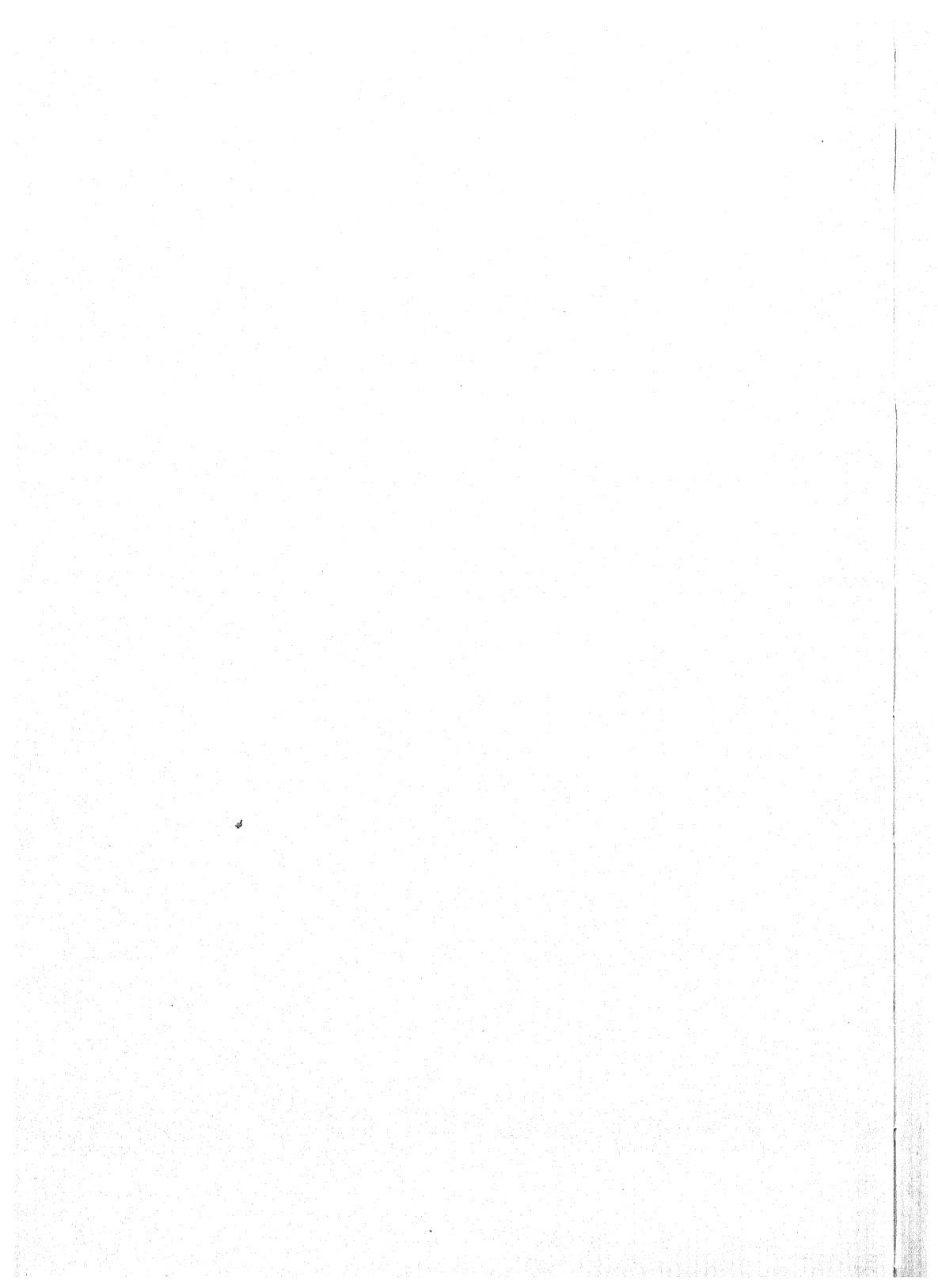
16. ILIJIN, W. S. 1928. Die Durchlassigkeit des Protoplasmas, ihre quantitative Bestimmung und ihre Beeinflussung durch Salze und durch Wasserstoffionenkonzentration. *Protoplasma*, 3 : 558-602.
17. — 1948. Der biochemische Typus der Pflanzen und die Diagnose der Krankheit. *Planta*, 35 : 701-749.
18. — 1950. Influencia de los abonos sobre la composicion quimica de las plantas, Rev. Grancolombiana Zoot., Hig. Med., Veter. 4 : 36-111.
19. — 1952. Influencia de abonos fosfatados y nitrogenados sobre la composicion quimica y rendimiento del pasto Guinea. *Agronomia Tropical*, 2 : 145-184.
20. — 1954. Yield and chemical composition of commercially fertilized plants in the tropics. *Analys. Plantes Probl. Fumur. miner. Paris*, 1 : 143-150.
21. — 1955. Metabolismo y abonamiento en plantas forrajeras. *Rev. Facul. Agr. Univ. Cent. Venezuela*, 1 : 385-408.
22. JACOB, A. 1929. Die chemische Untersuchung des Blattes als diagnostisches Mittel zur Bestimmung des Naehrstoffbedurfns des Weinstocks. *Zeitschr. angew. Chem.*, 42 : 257-262.
23. JACOBSON, L., OVERSTREET, R., KING, H. M. and HANDLEY, R. 1950. A study of potassium absorption by barley roots. *Plant Physiol.*, 25 : 639-647.
24. LAGATU, H. 1940. Importances et difficultés de la fumure potassique de vignes méridionales. Montpellier.
25. LOENWING, W. F. 1928. Calcium, potassium and iron balance in certain crop plants in relation to their metabolism. *Plant Physiol.*, 3 : 261-275.
26. LUNDEGÅRDH, H. 1934. *Lantbr. Akad. Handl. Stockh.*, 73 : 225.
27. — 1939. *Planta*, 51 : 419.
28. — 1940. Investigation as to the absorption and accumulation of inorganic ions. *Annals Agr. Coll. Sweden*, 8 : 233-404.
29. — 1941. Die Tripelanalyse. Theoretische und praktische Grundlagen einer pflanzenphysiologischen Methode zur Bestimmung des Düngerbedürfnisses des Ackerbodens. *Lantbr. Hogsk. Ann.*, 9 : 127-221.
30. MAUME, L. 1944. Die Reihenfolge der Anwendung der Nährstoffe beim Weinstock. *Progr. Agr. Vitic.*, 121 : 31-35.
31. MÜNTER, F. 1919. Pflanzenanalyse und Düngerbedürfnis des Bodens. *Jahrb. Landwirtsch.*, 67 : 229-266.
32. — 1920. Pflanzenanalyse und Dungung. *Ibid.*, 68 : 207-224.
33. NEARPASS, D. C. and DROSDOFF, M. 1952. Potassium, calcium and magnesium in tung leaves as related to these ions in the soil. *Soil Sci.*, 74 : 295-300.
34. — and BROWN, R. T. Effect of fertilizing tung trees with potash and other materials on the exchangeable cation content of Red Bay fine sandy loam. *Jour. Amer. Soc. Agron.*, 40 : 771-777.
35. NEFF, M. S., DROSDOFF, M., BARROWS, H. L., PAINTER, J. H. and PETTER, G. F. 1954. Effect of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium on bearing tung trees on Red Bay soils (Cited from Drosdoff, 1954).
36. PREVOT, P. et OLLAGNIER, M. 1951. Application du diagnostic foliaire à l'arachide. *Oléagineux*, 6 : 329-337.
37. — 1953. Engrais minéraux et oléagineux tropicaux. *Ibid.*, 8 : 843-851.
38. — 1954. Diagnostic foliaire du palmier à huile et de l'arachide. *Anal. Plantes et Probl. Engr. miner. Paris*, 1 : 239-260.
39. SAUSSURE, T. 1804. Recherches chimiques sur la végétation. Nyon, Paris.
40. SALGADO, M. 1954. The nutrient content of « nut water » in relation to available soil nutrients, as a guide to the manuring of the coconut palm (*Cocos nucifera*). *Analyses Plant. Probl. Engr. miner. Paris*, 1 : 217-238.
41. SEELHORST, LIBSCHER, KRETSCHMER und WILLIAMS. 1898. Versuche zur Ermittlung des Düngerbedürfnisses des Ackerbodens. *Jahrb. Landwirt.*, 46 : 367-417.
42. SHEAR, C. B., CRANE, H. L. and MYERS, A. T. 1946. Nutrientelement balance : A fundamental concept in plant nutrition. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 47 : 239-248.
43. — 1948. Nutrientelement balance : Application of the concept to the interpretation of foliar analysis. *Ibid.*, 51 : 319-326.

44. SITTON, B. G., LEWIS, W. AL, DROSDOFF, M. and BORROWS, H. L. 1954. Trends in response of bearing tung trees to nitrogen, phosphorus and potassium. *Ibid.* (*Cited from M. Drosdoff*).
45. STAHL-SCHRODER, M. 1904. Kann die Pflanzenanalyse uns Aufschluss ueber den Gehalt an assimilirbaren Naehrstoffen im Boden geben ? *Jahrb. Landwirt.* 52 : 31-92, 193-268.
46. TAMM, C. O. A study of forest nutrition by means of foliar analysis. *Analyse Plante Probl. Engr. miner.* Paris, I : 203-207.
47. THOMAS, W. 1945. Present status of diagnosis of mineral requirement of plants by means of leaf analysis. *Soil Sci.* 59 : 353-374.
48. WALLACE, T. 1928. The effects of manurial treatments on the chemical composition of gooseberry bushes. I. Effect on dry matter, ash and ash constituents of leaves and stems of terminal shoots and of fruits, and total nitrogen of fruits. *Journ. Pomol.* 7 : 130-145.
49. WEINHOLD, A. 1862. Analyse von Unkrauter des Bodens der Versuchstation Chemnitz. *Landwirt. Sta.* 4 : 188-193.
50. — 1864. Uber die Uebereinstimmung der Zusammensetzung von Pflanzenaschen und derjenigen des Bodens. *Ibid.* 6 : 50-57.
51. WILLIAMS, J. S. 1953. Seasonal trends of minerals and proteins in prairie grasses. *Jour. Range Management.* 6 : 100-108.



IV^e PARTIE

CULTURES PÉRENNES



Recent work on foliar diagnosis in relation to the nutrition of some deciduous trees and soft fruit crops

by C. BOULD

University of Bristol, Long Ashton Research Station, England

The main purpose of this paper is to draw attention to recent work on certain fruit crops, and to discuss the results in relation to previous investigations and accepted principles of plant nutrition. Boynton and Compton (7), and more recently Reuther and Smith (24), have dealt with tree fruits, whilst Thomas (29), Goodall and Gregory (14), Lundegårdh (17) and Ulrich (31) have reviewed the general principles and techniques of leaf analysis in relation to the nutritional status of plants, therefore no attempt has been made here to cover all aspects of foliar diagnosis. Furthermore the review has been limited to work published in English since 1949.

TREE FRUITS

APPLE.

It is generally accepted now that age and position, variety, rootstock, size of crop, injury and climate all affect the mineral nutrient status of leaves, therefore these factors must be taken into consideration when interpreting leaf analysis results.

Rogers, Batjer and Thomson (26) made a study of the seasonal trends of several nutrient elements in the leaves of apple, *var. Delicious*. In order to reduce sampling errors two mature leaves per terminal shoot, on each of 25 shoots, were selected at the beginning of the season and discs (1 sq. cm.) were removed alternately from the two leaves on each sampling date. Previous experiments had shown that the removal of discs from a leaf blade did not alter the mineral content of subsequent discs taken from the same leaf. A similar conclusion was reached by Bould and Bradfield (2) for black currant leaves.

Rogers *et al* found that the percentage nitrogen declined rather slowly up to 140 days after blossoming, and then decreased rapidly as leaf fall approached. Phosphorus concentration decreased throughout, the decrease

being greatly accelerated towards the end of the season. The percentage potassium decreased almost linearly with season. Calcium concentration increased rapidly during the first 65 days after blossoming, and then remained fairly constant for the next 90 days, after which there was a further rapid increase. No pronounced seasonal trends were shown by magnesium. These results are similar to those found previously by Boynton and Compton (7).

Rogers *et al* also compared disc with whole-leaf (blade + petiole) samples and found that the latter contained 15% less nitrogen and approximately 15% more total potassium and calcium than the former. Values for total phosphorus and magnesium were similar in both samples. As a result of their investigations they suggested that leaf sampling should be done in July-August.

Emmert (12) studied the effect of time of sampling, and of leaf position, on both soluble and total phosphorus, potassium, calcium and magnesium concentrations in McIntosh apple leaves. Samples were taken from the top 1/3 rd portions of current season's shoots, and from non-fruiting spurs from June to September. Soluble and total phosphorus and potassium decreased in concentration throughout the season. The initial concentration of soluble and total potassium was higher in tip than in base or spur leaves, but the final concentration at the end of the season was lower. Basal leaves were generally higher in potassium than spur leaves throughout the season. Total calcium showed a steady increase in concentration with time, whilst soluble calcium increased early in the season only and then decreased. For both soluble and total calcium the relative order was : spur > base > tip leaves. The concentration of total magnesium in basal leaves, and of soluble magnesium in the basal and spur leaves, decreased throughout the season ; the relative order being spur > tip > base.

In a later paper Emmert (13) found significant differences in the major leaf nutrients between different apple varieties growing on the same soil ; also that leaves from older trees contained a higher percentage of calcium and magnesium than did leaves from younger trees of the same variety.

Although the method of tissue testing, using extracts of fresh tissue, has been used extensively for certain crops, Nicholas (21), full chemical analysis seems to be favoured by most workers dealing with fruit crops. Ritter (25) compared tissue tests with full chemical analysis for determining the mineral element status of apple leaves. Highly significant positive correlations were found between total phosphorus and between total potassium and the extract fractions in blades, petioles and whole leaves on all sample dates. Similar correlations were found between total calcium and between total magnesium and the extract fractions in blades, entire leaves but not petioles. No significant correlation was found for nitrogen.

Emmert *loc. cit.* found that soluble fractions were satisfactory for reflecting the phosphorus and potassium but not the calcium status of apple leaves.

Ionic antagonism in plant nutrition has been recorded by many workers. Lundegårdh (17), for instance, recognizes three types of ionic antagonism : (1) true antagonism as between potassium and calcium ; (2) false antagonism due to dilution by enhanced growth, in which he includes the effect of nitrate on manganese and nitrogen on potassium, and (3) metabolic antagonism caused by excess of one factor affecting synthetic processes on which the concentration of other nutrients depend. Recently Eaves and Kelsall (11), studying the chemical composition of Cortland apple leaves in relation to nutritional treatment, showed that ion antagonism appeared to exist within the pairs of ions N-P, K-Mg, and possibly N-Ca, but neither N-K nor N-Mg showed any direct correlation. They suggested that magnesium deficiency in apple is due to relatively high levels of potassium, or phosphorus, and may be mitigated by applications of nitrogen which serves to dilute the concentration of potassium, or hamper the intake of phosphorus. Recent work by Cain (8, 9, 10), however, has shown that changes in the nutrient content of the foliage does not necessarily reflect corresponding changes in the shoot tissue, nor can they be interpreted always as representing changes in the uptake from the soil. He showed (8) that the total potassium and total phosphorus content of apple leaves was greatly reduced, whereas that of the dormant shoot was increased, by nitrogenous fertilizers. Total magnesium was increased in both leaves and shoots, indicating a mobilization of magnesium into the growing tissue. A decrease in the total magnesium content of both shoots and leaves was associated with increased use of potassic fertilizers. Working with 5 yr. old branches from 11 yr. old apple trees given nil, N, K and NK fertilizer treatments, he found that total phosphorus in branches was relatively unchanged by fertilizer treatment, the decrease in concentration being due to dilution by growth. The leaves lost in total phosphorus, as well as showing a decrease in concentration, when either nitrogenous or potassic fertilizers were applied, with a corresponding gain in phosphorus by the wood and bark. Thus the previously observed decrease in percentage leaf phosphorus, as a result of nitrogenous fertilization, represents a combination of growth dilution and shift in distribution from leaves, to wood and bark tissue. If the entire branch was considered as a unit, nitrogenous fertilizer caused as much increase in the potassium content as did potassic fertilizer, but the latter treatment caused less growth and therefore the concentrations of potassium in dry matter increased as compared with the former treatment.

Cain concluded that differences in leaf composition, commonly observed when fertilizers are applied to the soil, do not represent differences in the remainder of the tree, nor can such changes be interpreted as differences in absorption or uptake. Analysis of young trees for total nutrients indicated that one ion has little effect on the total absorption of another by the tree. However, the percentage composition of one ion may be decreased by the application of another, if its rate of absorption does not keep pace with the enhanced rate of growth stimulated by the added ion.

Leaf analysis is particularly useful for diagnosing nutrient deficiencies and excesses and the literature on this aspect is quite extensive, Goo-dall and Gregory (14). The information concerning optimum nutrient levels is not so satisfactory. Smith and Taylor (27) favour the concept that there is a specific leaf concentration, for each of the essential elements, which is correlated with optimum response in terms of yield and other characteristics (cf. critical levels of Macy (18)), and that these concentrations, or « optimum values », hold over a wide range of climatic conditions. Once these values have been accurately determined for a certain crop they can be used as standards with which to compare analyses of leaves from plants making unsatisfactory growth, and fertilizer applications can then be made with the aim of raising, or lowering, each concentration towards that of the optimum. The authors conclude that if the leaf concentrations are at optimum levels then it follows that the intensity of nutrition, and the nutrient element balance, are also optimum. Table I contains optimum leaf nutrient concentrations suggested by them, together with values given by other workers for comparison.

TABLE I
Tentative optimum nutrient concentrations in apple leaves
(as % leaf dry matter)

Nutrient	Leaf position	Variety	Date sampled				Authority and Reference
			June	July	Aug.	Sept.	
N	M	Stayman	2.58	2.63	2.45	2.34	Smith, C. B. and Taylor, G. A. (27).
	»	Spy	—	1.9-2.0	—	—	Hill, H. (15).
	»	McIntosh	—	2.0-2.1	—	—	Thomas, W. et al. (30).
	»	Stayman	2.05	2.00	2.02	—	
	»	Delicious	2.65	2.40	2.22	—	
	»	New York	2.25	2.00	1.94	—	
P	»	McIntosh	—	2.00	—	—	Boynton, D. and Cain, J. C. (6).
	»	Stayman	0.18	0.17	0.15	0.14	Smith, C. B. and Taylor, G. A. (27).
	»	Stayman	0.21	0.19	0.19	—	Thomas, W. et al. (30).
	»	Delicious	0.28	0.28	0.25	—	
K	»	New York	0.22	0.21	0.19	—	Smith, C. B. and Taylor, G. A. (27).
	»	Stayman	1.34	1.21	1.15	0.99	
	»	Stayman	1.31	1.63	1.70	—	Thomas, W. et al. (30).
Mg	»	Delicious	1.66	1.75	1.84	—	Smith, C. B. and Taylor, G. A. (27).
	»	New York	1.62	1.35	1.24	—	
	»	Stayman	0.30	0.29	0.25	0.23	
	»	Stayman	0.27	0.32	0.34	—	Thomas, W. et al. (30).
	»	Delicious	0.27	0.28	0.31	—	
	»	New York	0.30	0.34	0.29	—	
Ca	»	—	—	0.25	—	—	Boynton, D. and Compton, O. C. (7).
	»	Stayman	—	—	—	—	Wallace, T. (32).
	»	Stayman	1.17	1.28	1.35	1.41	—
B	»	Stayman	38 p.p.m.	47 p.p.m.	39 p.p.m.	40 p.p.m.	Smith, C. B. and Taylor, G. A.
Mn	»	Stayman	62 p.p.m.	64 p.p.m.	66 p.p.m.	68 p.p.m.	(27).
Cu	»	Stayman	11 p.p.m.	13 p.p.m.	13 p.p.m.	10 p.p.m.	—

M = median leaf from current extension shoots.

Moon *et al* (20) were able to diagnose early magnesium deficiency in apple by analysis of primary spur leaves in May. Normal magnesium deficiency symptoms do not usually develop till July-August. Only primary leaves on fruit bearing spurs showed deficiency symptoms at this early date. Analysis of these leaves gave values of 0.03 % for Mg, and 3.03 % for K, whereas vegetative spur leaves not showing symptoms gave values of 0.17 % Mg and 1.70 % K in leaf dry matter. Eaves and Kelsall (11) found that the critical level for Mg in leaves from the median position of extension shoots in July was 0.175 %, and that potassium deficiency developed in leaves containing less than 1.0 % K in dry matter. Woodbridge (35) also found that when the magnesium concentration of leaves fell below 0.18 % on a dry matter basis, leaf blotch symptoms were invariably present in apple orchards. These values are similar to those quoted by Boynton and Compton (7).

Lundegårdh (17) has pointed out that care must be exercised in the interpretation of analytical results when one element is limiting growth. If nitrogen is limiting, then plants grow slowly and the organs remain small in relation to the absorptive area of the roots : even with low concentrations of potassium and phosphorus in the soil, these nutrients reach high values in the leaves and stems under conditions of nitrogen deficiency. Hence when the conditions of growth are not known, as will be the case in practical leaf analysis, low nitrogen results provide sufficient warning against over-valuation of the potassium and phosphorus values.

Steenbjerg (28) also advocates caution in the use of leaf analysis when working in the concave region of the S-shaped yield curve. In this region the nutrient present in limiting amount shows first a decrease, and then an increase, in leaf concentration as a result of soil treatment with increasing amounts of the limiting nutrient.

A number of workers have studied the relationship between leaf composition, yield and quality of fruit. Hill (15) found a highly significant negative correlation between foliage nitrogen in July and subsequent storage quality in two apple varieties in three successive years. In the variety N. Spy a marked decrease in quality occurred in fruit from trees with leaf nitrogen above 1.9 to 2.0 % in dry matter, and a similar decrease occurred in the McIntosh variety with foliage nitrogen above 2.0 to 2.1 % in dry matter. These values are similar to those quoted by Boynton and Compton (7). A sharp increase in bitter pit also occurred when leaf nitrogen exceeded 2.3 % in dry matter. No relationship was established between foliage phosphorus and fruit quality.

Weeks *et al* (33), working with the variety McIntosh, found that an increase in leaf nitrogen of 0.1 %, over the range 1.86-2.16 % dry matter, caused a decrease of 14 % in « fancy grade » fruit, whereas an increase of 0.1 % in potassium, over the range 0.85-1.56 % leaf dry matter, gave an increase of 7 % in « fancy grade » fruit.

Few attempts have been made to relate growth and yield of fruit with two or more nutrients. Leyton (16), working with Japanese larch, employed

regression equations for relating growth with the mineral composition of leaves. Calculation of partial correlation coefficients between tree height and each nutrient indicated that only nitrogen was linearly related to tree height independently of the factors. However, percentage nitrogen alone did not provide the best estimate of tree height. Calculation of a regression equation including nitrogen and potassium only gave the following results :

$$Y = 123.27 X_1 + 188.69 X_2 - 180.91$$

where Y = estimated tree height in cm.

X_1 = N as % leaf dry wt.

X_2 = K as % —

The S. E. of the Y was ± 40.9 cm.

This method of approach might be used with success in relation to fruit nutrition and tree growth.

OTHER TREE FRUITS.

Proebsting and Brown (22) determined the seasonal changes in the nutrient status of the basal leaves from differentially covercropped prune, peach, apricot and pear trees. They found that nitrogen was high in the spring and thereafter decreased almost linearly throughout the season. Variations in potassium concentration were greater than those in nitrogen, and they did not always follow the usual seasonal trend. For instance, in apricot there was a steady rise in potassium concentration between May and July, followed by a slight decrease from August onwards, whereas in pear the trend was reversed. Moreover the concentration of potassium in pear was only one third to one half that of apricot growing on the same soil. Phosphorus values, except for the apricot, followed a typical pattern, i. e. a rapid initial drop with a levelling off in summer. In apricot there was an initial decrease in May and early June followed by a steady rise till August. Initial low values which rise steadily throughout the season were found for calcium and magnesium. The values for pear were much lower on the whole than those for the other crops, and the seasonal increase was also less. The authors stress the point that since changes in composition at any given period in the life of a leaf may be of considerable magnitude, caution should be exercised in assigning limits for deficiency or excess without stating the time of sampling.

Zubriski and Swingle (36) compared the potassium concentration of cherry leaves, taken from extension shoots in August, with exchangeable soil potassium values obtained from the same orchard sites. They found a linear relationship between leaf potassium and the log. of exchangeable potassium in the top 0-6 of soil. Leaf curl symptoms were found on trees with a leaf potassium status < 0.8 % dry wt.

Woodbridge (34) studied the symptoms associated with boron deficiency and excess in peach, apricot, prune and cherry grown in sand culture. Deficiency symptoms were associated with a boron concentration, in median

leaves sampled in October, of less than 10 p.p.m. dry wt., and excess with amounts varying from 61 p.p.m. in prune to 200 p.p.m. in peach.

McClung (19) carried out a survey of peach orchards in N. Carolina in relation to zinc deficiency. Analysis of mid-shoot leaves, sampled in August, showed that zinc deficiency symptoms appeared on all trees when the concentration fell below 6 p.p.m. in dry wt. The mean value from orchards showing chlorosis and little-leaf was 10.3 p.p.m. Zn, as compared with 19.2 p.p.m. Zn from orchards not showing deficiency symptoms.

SOFT FRUITS

These crops have not been investigated to the same extent as tree fruits. However, extensive work is now being carried out at Long Ashton on black currants and strawberries to investigate : (1) changes in the mineral nutrient status of leaves with position and age; (2) deficiency and sufficiency levels in relation to time of sampling, and (3) methods of maintaining optimum nutrient levels with particular reference to foliar sprays. Material for this work is obtained from long-term manurial deficiency plots (N, P and K), large-scale factorial manurial field trials and sand and water-culture experiments.

BLACK Currant.

Positional and seasonal changes in the leaf concentrations of total N, P, K, Ca and Mg from extension shoots of the *var. Mendip Cross* were determined by Bould (1) at weekly intervals over the period early May to early July (fruit ripening). It was shown that leaf nitrogen decreased from tip to base, and with season until early June, when positional differences reached a minimum and levels remained fairly constant till fruit ripening. The seasonal trend in leaf phosphorus was similar to that of nitrogen until early June, after which time the concentration in the older leaves remained fairly constant whilst that of the later formed leaves continued to fall. Potassium concentration decreased with age of leaf, and from base to tip. Calcium concentration decreased from base to tip and increased almost linearly with season, whilst magnesium decreased from base to tip and increased slightly with season. The mean nutrient values for leaves, taken from the mid-third region of current shoots from May 5th till July 3rd, are given in Table II. These leaves were taken from bushes in their 9th season from planting and growing on plots receiving adequate fertilizers, with the possible exception of nitrogen, which was slightly sub-optimal. As a result of this work it was shown that leaf samples taken from the mid-third region of extension shoots just prior to fruit maturity are suitable for comparative and diagnostic purposes in respect of the major nutrients. Previous work by Bould and Catlow (3,4) showed that this method of leaf sampling was suitable for comparing the effects of varying levels of nitrogenous

TABLE II

*Seasonal changes in the major nutrients of black currant leaves var. Mendip Cross
(Mean values for median leaves from extension shoots)
Bould 1)*

Nutrient	Sampling dates							
	5.5.53	12.5.53	19.5.53	26.5.53	3.6.53	10.6.53	17.6.53	3.7.53
N	3.70	3.40	3.22	2.96	2.59	2.68	2.54	2.63
P	0.43	0.31	0.30	0.26	0.24	0.20	0.19	0.21
K	3.26	3.10	2.49	2.56	2.26	2.13	1.99	2.00
Ca	0.91	1.11	1.09	1.31	1.40	1.60	1.73	2.31
Mg	0.16	0.17	0.17	0.23	0.24	0.24	0.24	0.28

fertilizers, and that a leaf nitrogen status of about 2.9 % dry wt. in mid-July was optimum for growth and yield, in the absence of any other limiting factors.

Bould and Bradfield (2) carried out a sampling experiment on young, uniformly treated black currant bushes to determine (1) whether a disc sample taken from a particular part of the leaf was representative of the whole, and (2) whether the removal of one or more discs from a leaf affected the total nitrogen and potassium concentration of subsequent discs taken from the same leaf. For total potassium, differences due to position within the leaf were not significant, but the disc samples were significantly lower in potassium than the whole-leaf plus petiole. This may have been due to the petiole having a higher potassium status than the lamina. For total nitrogen there was no significant difference between positions, or between discs and whole-leaf plus petiole. The removal of one to three discs from the same leaf, during the period 16th July to 6th August, had no significant effect on the nitrogen or potassium status of that leaf. It would appear, therefore, that disc samples can be used instead of whole leaves when the amount of material available is limited, and when removal of whole-leaves at frequent intervals might seriously affect the growth of the bush. Further investigations are required, however, to test disc sampling outside the period quoted.

STRAWBERRY.

Bould and Catlow (5) studied the effect of long-term manurial treatments on the growth, yield and nutrient status of strawberry, *var. Climax*. Leaf samples, consisting of about 50 fully-expanded leaves (one leaf from each plant) were taken on three occasions in each of three successive cropping seasons. The first sampling took place at flowering, the second when the first-formed fruits were ripe and the third after the fruit had been picked. Over this period (end of May till mid-July) there was a steady fall in the concentrations of nitrogen, phosphorus and potassium, and an increase in calcium and magnesium. Treatments had a significant effect on

the nitrogen and potassium status of the leaves but less effect on the phosphorus status, although the level of available phosphate in the soil was very low. At no time did the leaf phosphorus reach deficiency level. Later experiments with strawberry, *var.* Royal Sovereign, (unpublished data) confirm the finding that this crop can make satisfactory growth on soils low in available phosphate, providing the original runner has an adequate phosphorus reserve. Some sufficiency and deficiency levels for the major nutrients are given in Table III. The values for the variety Climax are the means or the first two cropping seasons, whereas those for Royal Sovereign are for the first cropping season only.

TABLE III

Major nutrient sufficiency and deficiency levels in strawberry leaves
(Composite sample of 50 fully expanded leaves)
Bould, C., and Catlow, E. (5)

Variety	Nutrient	Sampling date	as % leaf dry matter					
			Sufficient			Deficient		
			Flowering	Fruiting	After picking	Flowering	Fruiting	After picking
Climax	Total N		2.90	2.50	2.00	2.64	2.06	1.66
	» P		0.37	0.28	0.19	—	—	—
	» K		1.76	1.59	1.31	1.43	0.90	0.58
	» Ca		0.75	0.90	1.71	—	—	—
	» Mg		0.22	0.25	0.30	—	—	—
Royal Sovereign	» N		3.20	2.70	2.36	—	—	—
	» P		0.45	0.24	0.22	—	—	—
	» K		1.82	1.55	1.52	1.55	0.86	0.65

Deficiency symptoms are most marked in strawberry when the first fruits are ripening, and this would appear to be the most satisfactory stage for taking leaf samples if one is limited to a single sampling date. Severe leaf scorch develops about this time in potassium-deficient plants and it is associated with a leaf potassium of less than 1.0% on a dry weight basis. Although no detailed work has been carried out on the relationship between leaf position and nutrient status in this crop, the first fully expanded leaf reflects treatment differences and appears to be satisfactory for diagnostic purposes. Using this type of leaf significant differences in leaf composition, due to treatments, were first noted at the flowering stage, Bould, *loc. cit.*

RASPBERRY.

Ramig and Vandecavaye (23) studied changes in the leaf composition of raspberry plants grown in water culture under conditions of nutrient deficiency and sufficiency. The first six physiologically mature leaves, beginning with the third or fourth leaf from the growing tip, were selected

from each plant for chemical analysis. Petioles and blades were analysed separately. They found that treatment differences in respect of total nitrogen were greater for blades than for petioles, and furthermore that blades contained a greater concentration of total nitrogen. The differences in percentage phosphorus between petioles and blades were small. Petioles reflected differences in potassium status more markedly than did leaf blades, particularly at high levels. They also contained a greater percentage of total calcium than did blades. The authors suggested that whenever possible the plant tissue that is the most sensitive indicator of the nutrient status of the plant should be used for analysis.

The critical nutrient levels for total nitrogen, phosphorus and potassium in leaf blade dry matter, suggested by these authors, were 2.9, 0.3 and 1.0 % respectively, the critical level being defined as that narrow range of nutrient concentration in which the growth rate, or yield of the plant, first begins to decrease in comparison with plants at a higher nutrient level.

REFERENCES

1. BOULD, C. Seasonal changes in the major nutrients of black currant leaves. *J. hort. Sci.*, 1955, **30**, 188.
2. BOULD, C. and BRADFIELD, E. G. Foliar analysis in relation to black currant nutrition. I. Investigations on leaf disc sampling. *Ann. Rept. Long Ashton Res. Sta.* for 1955, 1956, 93.
3. BOULD, C. and CATLOW, E. A manurial experiment on black currants. Progress report II. *Ann. Rept. Long Ashton Res. Sta.* for 1947, 1948, 52.
4. BOULD, C. and CATLOW, E. A manurial experiment on black currants. Progress report III. *Ann. Rept. Long Ashton Res. Sta.* for 1950, 1951, 49.
5. BOULD, C. and CATLOW, E. Manurial experiments with fruit. I. The effect of long-term manurial treatments on soil fertility and on the growth, yield and leaf nutrient status of strawberry, *var. Climax*. *J. hort. Sci.*, 1954, **29**, 203.
6. BOYNTON D. and CAIN, J. C. A survey of the relationship between leaf nitrogen, fruit colour, leaf colour and percent of full crop in some N. York McIntosh apple orchards, 1941. *Proc. Amer. Soc. hort. Sci.*, 1942, **40**, 19.
7. BOYNTON, D. and COMPTON, O. C. Leaf analysis in estimating the potassium, magnesium and nitrogen needs of fruit trees. *Soil Sci.*, 1945, **59**, 339.
8. CAIN, J. C. The effect of nitrogen and potassium fertilizers on the performance and mineral composition of apple trees. *Proc. Amer. Soc. hort. Sci.*, 1953, **62**, 46.
9. CAIN, J. C. The absorption and distribution of mineral nutrients in apple trees as affected by nutrient supply. *Proc. Amer. Soc. hort. Sci.*, 1953, **62**, 53.
10. CAIN, J. C. The effect of potassium and magnesium on the absorption of nutrients by apple trees in sand culture. *Proc. Amer. Soc. hort. Sci.*, 1955, **65**, 25.
11. EAVES, C. A. and KELSALL, A. Chemical composition of Cortland apple leaves in relation to nutritional treatment. *J. hort. Sci.*, 1954, **29**, 59.
12. EMMERT, F. H. The soluble and total phosphorus, potassium, calcium and magnesium of apple leaves as affected by time and place of sampling. *Proc. Amer. Soc. hort. Sci.*, 1954, **64**, 1.
13. EMMERT, F. H. The influence of variety, tree age and mulch on the nutritional composition of apple leaves. *Proc. Amer. Soc. hort. Sci.*, 1954, **64**, 9.
14. GOODALL, D. W. and GREGORY, F. G. Chemical composition of plants as an index of their nutritional status. *Imp. Bur. Hort. and Plantation Crops, Tech. Com.*, no 17, 1947. Penglais, Aberystwyth, Wales.
15. HILL, H. Leaf composition in relation to yield and quality in apple. 13th Intern. Hort. Congress, London, 1952, **1**, 199.

16. LEYTON, L. The relationship between the growth and mineral composition of the foliage of Japanese Larch. *Plant and Soil*, 1956, *VII*, 167.
17. LUNDEGÅRDH, H. Leaf Analysis (translated by R. H. Mitchell). Hilger and Watts Ltd., London, 1951.
18. MACY, P. The quantitative mineral nutrient requirements of plants. *Plant Physiol.*, 1936, *11*, 749.
19. MCCLUNG, A. C. The occurrence and correction of zinc deficiency in N. Carolina peach orchards. *Proc. Amer. Soc. hort. Sci.*, 1954, *64*, 75.
20. MOON, H. H., HARLEY, C. P. and REGEIMBAL, L. O. Early season symptoms of magnesium deficiency in apple. *Proc. Amer. Soc. hort. Sci.*, 1952, *59*, 61.
21. NICHOLAS, D. J. D. The application of rapid chemical tissue tests to the diagnosis of mineral disorders in horticultural crops. Parts I and II. *J. hort. Sci.*, 1948 *24*, 3.
22. PROEBSTING, E. L. and BROWN, J. G. Leaf analysis of differentially cover cropped deciduous fruit trees. *Hilgardia*, 1954, *23*, 125.
23. RAMIG, R. E. and VANDECAYEYE, S. C. A study of certain nutrient levels for raspberries grown in water culture. *Plant Physiol.*, 1950, *25*, 617.
24. REUTHER, W. and SMITH, P. Leaf analysis as a guide to the nutritional status of orchard trees. *Plant Analysis and Fertilizer Problems*. I. R. H. O., 11, Square Pétrarque, Paris (16e), 1954, 166.
25. RITTER, C. M. The use of soluble tissue tests in determining the mineral element status of apple trees. *Proc. Amer. Soc. hort. Sci.*, 1954, *63*, 37.
26. ROGERS, B. L., BATJER, L. P. and THOMPSON, A. H. Seasonal trends of several nutrient elements in Delicious apple leaves expressed on a per cent and unit area basis. *Proc. Amer. Soc. hort. Sci.*, 1953, *61*, 1.
27. SMITH, C. B. and TAYLOR, G. A. Tentative optimum leaf concentrations of several elements for Elberta peach and Stayman apple in Pennsylvania orchards. *Proc. Amer. Soc. hort. Sci.*, 1952, *60*, 33.
28. STEENBJERG, F. Manuring, plant production and the chemical composition of the plant. *Plant and Soil*, 1954, *V*, 226.
29. THOMAS, W. Present status of diagnosis of mineral requirements of plants by means of leaf analysis. *Soil Sci.*, 1945, *59*, 353.
30. THOMAS, W., MACK, W. B. and SMITH, C. B. Leaf concentrations of five elements in relation to optimum nutrition of a number of horticultural crops. Penn. Sta. Col. Agric. Bul., n° 564, 1953, 1-16.
31. ULRICH, A. Physiological bases for assessing the nutritional requirements of plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 1952, *3*, 207.
32. WALLACE, T. Mineral Deficiencies in Plants. H. M. S. O., London, 1951.
33. WEEKS, W. D. et al. The effect of rates and sources of nitrogen, phosphorus and potassium on the mineral composition of McIntosh foliage and fruit colour. *Proc. Amer. Soc. hort. Sci.*, 1952, *60*, 11.
34. WOODBRIDGE, C. G. The boron requirements of stone fruit trees. *Can. J. Agric. Sci.*, 1955, *35*, 282.
35. WOODBRIDGE, C. G. Magnesium deficiency in apple in British Columbia. *Can. J. Agric. Sci.*, 1955, *35*, 350.
36. ZUBRISKI, J. C. and SWINGLE, C. F. Potassium content of Montmorency cherry leaves in relation to leaf curl and to exchangeable soil potassium. *Proc. Amer. Soc. hort. Sci.*, 1950, *56*, 34.

DISCUSSION

H. BROESHART. — According to the author, the most suitable sampling period for routine sampling, would seem to be that period in which the variation in the contents of various elements in the leaf are as small as possible.

Would the sensitivity to varying nutritional conditions in the soil, i. e. the order of the differences in leaf composition which correspond with treatment

effects and yield responses not be a better criteria for the choice of sampling period?

In the case that a variation is large, one could easily cope with problem, by increasing the number of subsamples for a representative sample.

BOULD. — With blackcurrant and strawberry the period when differences in leaf nutrient status due to position are at a minimum corresponds with the period when differences due to soil treatment are most apparent. This occurs just prior to fruit ripening.

WALSH (Dept. of Agriculture, Ireland). — *Has Dr. Bould applied leaf analysis to a study of biennial bearing in apple trees?*

R. — The answer to the first part of the question is no ; we try to avoid biennial bearing varieties in our experiments. Mason of East Malling Research Station has shown that significant differences do occur in the nutrient status of apple leaves (from trees receiving the same treatment) during « on » and « off » years.

La fumure de l'olivier. La solution apportée par le diagnostic foliaire.

par A. BOUAT

Laboratoire de Recherches de Biochimie Végétale, Ecole Nationale
d'Agriculture de Montpellier, France

La fumure de l'olivier est un problème qui jusqu'à présent n'a pas beaucoup tenté les agronomes et les gens de laboratoire, tout au moins en France. Il faut en chercher la raison dans l'abandon de sa culture dans les régions méridionales et cela pour des causes économiques. De ce fait, son aire de culture s'est cantonnée dans les garrigues et il était bien évident, dès lors, que la fumure et les problèmes qu'elle pose devenaient secondaires.

Au contraire, dans les régions où les plantations sont relativement récentes, nous pensons à la Tunisie en particulier, ces problèmes présentent une importance très grande : une soixantaine d'années de cultures, sans aucun apport d'éléments fertilisants, ont amené une baisse régulière dans la production. Nous ne disons pas que c'est là la seule cause de cette baisse, mais c'est incontestablement l'une des causes.

En culture irriguée où les productions vont parfois jusqu'à 200 kg de fruits par arbre ; le phénomène ne peut que se trouver exagéré et l'on ne peut continuer cette culture intensive sans apport d'éléments fertilisants, sans courir, semble-t-il, à de graves déboires. Heureusement, l'olivier est un arbre qui répond particulièrement à la fumure et le vieux proverbe provençal est là pour illustrer cette affirmation, qui fait dire à l'olivier : « Si tu veux que je te graisse la bouche, graisse moi le pied ».

Mais quelle fumure apporter à un arbre en production ? Il est bien évident qu'il ne peut y avoir de formule passe-partout, susceptible de convenir à tous terrains, à tous genres de cultures, à toutes variétés même.

Le diagnostic foliaire, après son application aux fumures de la vigne, du blé, du riz, du maïs, des agrumes, de la canne à sucre, des arachides, etc., semble devoir apporter une solution à ce problème.

LE DIAGNOSTIC FOLIAIRE ET L'OLIVIER

Le D. F., tel qu'il a été conçu et mis en pratique par ses auteurs, MM. les Professeurs Lagatu et Maume, est essentiellement basé sur la

comparaison des résultats analytiques portant sur des feuilles choisies en place bien déterminée d'une part, et cueillies à des époques physiologiques bien précises d'autre part.

CHOIX DES FEUILLES.

Dans le cas qui nous occupe, par rapport aux autres cultures déjà étudiées, le problème se compliquait par le fait de l'existence de trois sortes de feuilles durant la majeure partie de la vie de l'arbre ; en effet, il existe dès le mois d'avril (en France), des jeunes brindilles qui commencent leur pousse, tandis que persistent encore les feuilles de l'année précédente qui vont porter la récolte de l'année et même, pratiquement jusqu'au mois d'août, des feuilles de l'année d'avant. Ces trois sortes de feuilles, nous les avons appelées dans notre travail : feuilles de l'an, feuilles de deux ans, et feuilles de trois ans.

Par ailleurs, les jeunes brindilles peuvent se créer en prolongement d'une brindille de l'année précédente ou latéralement sur cette même brindille. Elles peuvent se placer en haut de l'arbre, sur les côtés ou le centre et sur les parties basses.

Enfin, suivant la période à laquelle la brindille commence sa pousse (celle-ci dure environ un mois en France méridionale), la longueur de celle-ci peut varier dans de très grandes proportions, de un à cinq environ (parfois de 10 à 60 cm et plus).

Il semblait donc au départ que l'on dût constater des différences considérables dans les teneurs en azote, acide phosphorique et potasse pour des feuilles placées dans des positions aussi différentes. Or, le problème s'est trouvé considérablement simplifié du fait que, lors d'une période déterminée, toutes les feuilles de même âge présentent sensiblement les mêmes teneurs, quelle que soit leur position sur la brindille et quelle que soit la position de la brindille elle-même. Il faut avoir soin seulement d'éliminer les feuilles de base bien souvent détériorées ou absentes, ainsi que le bouquet terminal qui, organe d'extrême jeunesse, présente des teneurs assez divergentes (Bouat, Renaud et Dulac (1)).

Le choix des feuilles à échantillonner étant fait, il était nécessaire de choisir les périodes physiologiques-types pour les divers échantillonnages.

CHOIX DES PÉRIODES PHYSIOLOGIQUES.

A priori, certaines périodes apparentes de la vie de l'arbre pouvaient être prises systématiquement : Floraision-Veraison par exemple. Nous avons préféré suivre, durant une période d'une année, les variations des teneurs en N, P₂O₅, K₂O, dans les trois sortes de feuilles de 1, 2, et 3 ans pour voir si des périodes particulières (outre ces deux là), pouvaient être mises en évidence. La variété choisie fut l'Arbéquine. Notre choix s'était porté sur cette variété à cause de la régularité de l'évolution des divers rameaux, quelle que soit leur position, verticale, horizontale ou pendante.

Dans ce but, des échantillons furent prélevés chaque quinze jours environ, depuis le mois d'octobre jusqu'au mois de décembre de l'année suivante, soit un peu plus d'un an (voir courbes).

Les courbes obtenues présentent une similitude parfaite quel que soit l'âge de la feuille, avec seulement un écrasement des courbes au fur et à mesure que la feuille vieillit. Pour l'azote et l'acide phosphorique, le phénomène se présente de la façon suivante : dès le départ de la végétation (mi-avril), la teneur est maximum, dans la vie de l'arbre ; elle commence à descendre très rapidement jusqu'à un point caractéristique qui se situe vers le début du mois d'août. Ce point particulier correspond au moment où, dans les fruits, l'endocarpe se trouve complètement sclérisé et ne peut plus être tranché au couteau. Comme l'avait observé un des auteurs de ce travail, cette époque (qui est presque toujours marquée par une chute abondante des jeunes olives sans cause parasitaire) paraissait d'ordre physiologique. Cette prévision s'est trouvée confirmée par l'allure des courbes car, dès ce point passé, la teneur remonte, marquant ainsi le passage d'un point d'utilisation maximum de l'azote et de l'acide phosphorique. Notons en passant que la période de la floraison a été traversée sans que nos courbes se soient trouvées modifiées en quoi que ce soit, durant ce passage (Fig. 1).

Les éléments en question continuent apparemment à s'accumuler jusqu'au mois d'octobre, c'est-à-dire à l'approche de la véraison. Au total, si, par extrapolation, nous plaçons bout à bout les courbes correspondant aux feuilles de un, deux ou trois ans, la courbe obtenue présente des minima qui marquent les périodes de sclérisations de l'endocarpe, des maxima indiquant les périodes de repos hivernal (2).

En conclusion, ont été prises comme périodes physiologiques de référence : le départ de la végétation (dans la mesure où celui-ci peut être facilement observé), la floraison parce qu'il s'agit d'une période particulièrement marquée, la sclérisation de l'endocarpe, et enfin, surtout, la période de repos hivernal. Cette période nous a paru intéressante à plusieurs points de vue : tout d'abord elle correspond à une vie ralentie de l'arbre pour nos régions méridionales ; elle constitue un palier pour les éléments nutritifs envisagés ; enfin elle indique un niveau plus ou moins élevé des réserves de l'arbre, niveau que nous pouvons considérer comme un facteur important des futures récoltes.

Nous n'avons parlé jusqu'ici que des courbes ayant trait à l'azote et à l'acide phosphorique. En ce qui concerne la potasse, les teneurs des feuilles de un, deux et trois ans, se comportent comme chez tous les végétaux étudiés jusqu'ici par le diagnostic foliaire, c'est-à-dire qu'elles baissent régulièrement depuis le début de la pousse pour une feuille déterminée jusqu'à la chute de celle-ci. Pour la chaux et la magnésie, les courbes sont exactement l'inverse de celles de la potasse et ceci est encore le cas général. Le point correspondant à la sclérisation de l'endocarpe marque à peine le passage de celui-ci. On peut attribuer cette différence entre l'azote et l'acide phosphorique d'une part ; la potasse et la chaux d'autre part, au fait que les deux premiers éléments interviennent directement dans la constitution

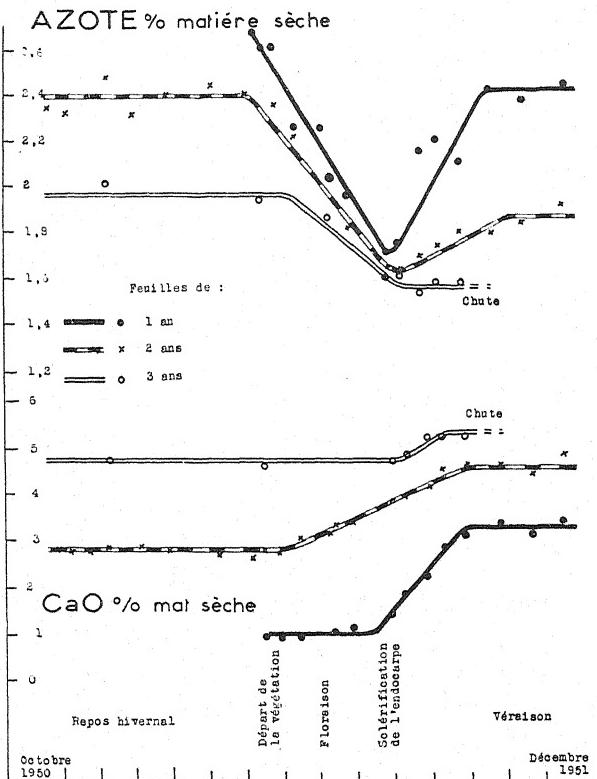


FIG. I.

de la matière vivante végétale, sous forme de phosphatides, phospho-amino-lipides, protides etc... On ne connaît pas de composés aussi bien déterminés pour le potassium et le calcium (3).

ALIMENTATION GLOBALE ET EQUILIBRE PHYSIOLOGIQUE.

Rappelons rapidement les deux valeurs caractéristiques du diagnostic foliaire, extraites des résultats analytiques d'azote, acide phosphorique et potasse ; tout d'abord, l'*Alimentation globale* : c'est la somme des teneurs des trois éléments en question, calculés en N, P₂O₅, K₂O. Elle est représentée graphiquement par une chandelle dont la dimension est proportionnelle à cette somme. Ensuite les *Equilibres physiologiques* : ce sont les rapports de ces éléments entre eux. Leur valeur s'inscrit par un point représentatif dans un triangle équilatéral dit triangle de référence, dont les sommets correspondent à 100 % N, 100 % P₂O₅, 100 % K₂O.

Dans le cas qui nous occupe des variations annuelles d'un arbre type, les alimentations globales suivent, pour les trois sortes de feuilles, des

courbes qui reflètent exactement les courbes de l'azote et de l'acide phosphorique puisque c'est le résultat de leur somme avec la potasse. Quant aux équilibres physiologiques, un fait remarquable se présente : les points représentatifs sont très voisins en ce qui concerne les feuilles de deux ans et de trois ans *durant toute l'année*. Quant aux feuilles de l'année, les points partent d'une teneur en azote moins élevée relativement, au début de la végétation, puis peu à peu rejoignent les valeurs obtenues pour les autres feuilles, de sorte qu'en définitive la zone ainsi inscrite représente bien une caractéristique propre de la feuille durant toute sa vie (c'est-à-dire une caractéristique de l'arbre) et principalement durant la période hivernale choisie pour les comparaisons dont nous allons parler maintenant.

INFLUENCE DE LA VARIÉTÉ.

Les oliveraies sur lesquelles portait notre travail présentent une variété dominante, mais dans laquelle se glissent bien souvent des variétés d'oliviers quelconques, et s'il est facile de faire la séparation lorsque les fruits sont sur l'arbre, il n'en n'est pas de même durant la période de repos hivernal. Aussi avons-nous voulu nous rendre compte des variations que l'on pouvait enregistrer dans l'alimentation globale et les équilibres physiologiques, sur de nombreuses variétés, poussant dans un même milieu.

Le seul terrain expérimental qui était à notre portée pour ce genre d'études était celui de Bel Air, du Service d'Oléotechnie du centre de recherches agronomiques du Midi. Bien que sa disposition ne corresponde pas à toute l'homogénéité de sol recherchée, il avait l'avantage de grouper une quarantaine de variétés d'olives, tant françaises qu'étrangères, côté à côté (Fig. 2).

A partir des résultats analytiques, les graphiques des équilibres physiologiques et des alimentations globales des arbres expérimentés font ressortir d'une part les variations non négligeables des premières : minimum : 2,51 %, maximum : 3,66 % de la matière sèche, d'autre part, surtout, le « groupement » particulièrement serré des points représentatifs de ces équilibres. Ceci nous a fait conclure : l'alimentation globale constitue une valeur caractérisant la vigueur de l'arbre ou de la variété ; l'aire délimitée par les équilibres physiologiques, extrêmement serrée, représente une *constante du milieu* au moment de l'échantillonnage (4).

INFLUENCE DU MILIEU.

L'étude d'une variété poussant dans des milieux différents va nous montrer à quel point cette conclusion se trouve confirmée.

Nous nous sommes adressés pour cela à deux variétés de la région languedocienne : la Verdale de l'Hérault et la Picholine du Gard et à la variété de la Drôme : la Tanche ; toutes trois olives de confiseries. Dans chacun de ces départements, une cinquantaine d'oliveraies furent prélevées. Nous

prendrons comme type les résultats obtenus dans l'Hérault, les deux autres confirmant pleinement ceux-ci.

Dans le cas de la Verdale, on distingue deux sortes d'utilisation de l'olive, suivant qu'il s'agit de gros fruits ou de petits fruits. Ceci amène la subdivision des olivettes en Olivettes de confiserie et Olivettes d'huilerie, qui, d'après la valeur du sol, les travaux et soins culturaux tout à fait variables qui sont faits aux unes ou aux autres, correspondent à ces deux

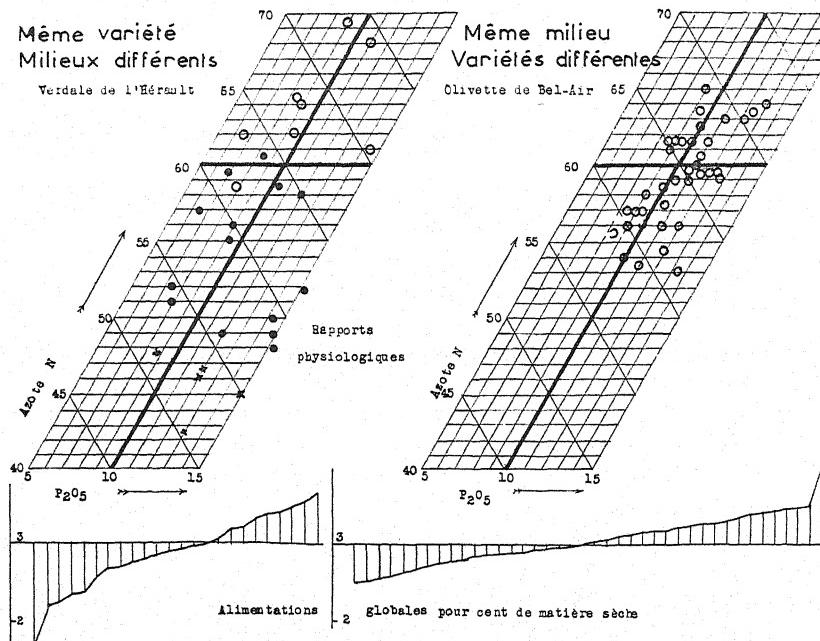


FIG. 2.

sortes de fruits. Nous y avons ajouté des échantillonnages faits sur des olivettes abandonnées ou malades. Sur notre graphique, ces dernières sont représentées par des croix, les olivettes de confiserie par des ronds en creux et les olivettes d'huilerie par des ronds pleins. On constate que chaque variété d'olivette occupe, sur le graphique des équilibres physiologiques, une zone bien déterminée. Dans le bas, les olivettes abandonnées ou malades (zone des faibles teneurs en azote), au-dessus les olivettes d'huilerie et enfin dans les teneurs élevées en azote les olivettes de confiserie (Fig. 2).

Dans les deux autres départements, Gard et Drôme, les mêmes phénomènes se retrouvent : les meilleures olivettes comportant les teneurs azotées les plus élevées.

Il faut insister ici sur l'étalement considérable que l'on rencontre pour les points représentatifs des équilibres physiologiques, pour des olivettes de même variété, poussant en des milieux différents. En effet, alors

que pour des variétés différentes, en même sol, les écarts maxima étaient les suivants :

	Azote	Acide phosphorique	Potasse
Minimum.....	—	—	—
Maximum	56 %	9 %	26 %

	Azote	Acide phosphorique	Potasse
Minimum.....	—	—	—
Maximum	65 %	11 %	33 %

pour la même variété, en sols différents, on arrive à :

	Azote	Acide phosphorique	Potasse
Minimum.....	—	—	—
Maximum	42,5 %	8,3 %	18,7 %

	Azote	Acide phosphorique	Potasse
Minimum.....	—	—	—
Maximum	73 %	13 %	44,5 %

Si nous considérons maintenant les alimentations globales pour les trois départements, nous constatons que celles-ci sont en relation directe avec les soins qui sont apportés aux oliviers dans les différentes régions. En tête viennent les olivettes de la Drôme avec une moyenne générale de 3,17 % (minimum : 2,34 %, maximum : 3,73 % puis à égalité sensiblement les olivettes du Gard et de l'Hérault avec des moyennes respectives de 2,69 % et 2,78 % (minima : 2,11 % et 1,71 % ; maxima : 3,08 % et 3,38 %).

OPTIMUM EXPÉRIMENTAL.

Des divers graphiques correspondant à plus de deux cents oliveraies échantillonnées, nous avons extrait des valeurs optima tant pour les alimentations globales que pour les équilibres physiologiques, valeurs qu'il faudra chercher à atteindre ou à maintenir par une fumure appropriée. Ces valeurs sont de l'ordre de 3 à 3,5 % pour la somme des éléments azote, acide phosphorique et potasse dont les rapports à leur somme devront être :

$$\text{Azote} : 60 \% \quad \text{P}_2\text{O}_5 : 10 \% \quad \text{K}_2\text{O} : 30 \%$$

ce qui nous donne les valeurs critiques suivantes :

$$\text{Azote} : 2,10 \% \text{ de la matière sèche } \quad \text{P}_2\text{O}_5 : 0,35 \% \quad \text{K}_2\text{O} : 1,05 \%$$

VÉRIFICATION EXPÉRIMENTALE DES OPTIMA.

Parallèlement à cette enquête, nos expériences se sont poursuivies sur une petite oliveraie expérimentale où furent menés en même temps des essais de variétés et des essais de fumure. Trois variétés intéressantes furent plantées côte à côte en 1948 et reçurent les mêmes fumures, répétées chaque année suivant les indications données par l'analyse foliaire.

La plus intéressante de ces variétés, la Picholine, commençait à donner sa première récolte dès l'année 1951, c'est-à-dire trois ans après la mise en place. C'était déjà là un résultat appréciable, si l'on considère que, dans la région méridionale française, l'olivier est un arbre que les agriculteurs plantaient pour leur petit-fils.

Les essais comportaient les fumures suivantes : fumure P-K, N-K,

fumier seul, fumure complète et témoins. L'exiguité de notre champ d'expérience ne nous permettait pas de diversifier davantage les essais.

Les rendements sont allés en croissant avec des fortunes diverses jusqu'en 1954 où la fumure complète nous a donné 17 kg par arbre, alors que les témoins restaient à 2,500 kg. Le graphique joint à notre note met en évidence les réponses aux différentes formules de fumure, par les rendements huile/hectare. La fumure P-K donnait 800 kg, le fumier seul 1.200 kg, la fumure complète 1.300 kg, la fumure N-K présentait un acoup

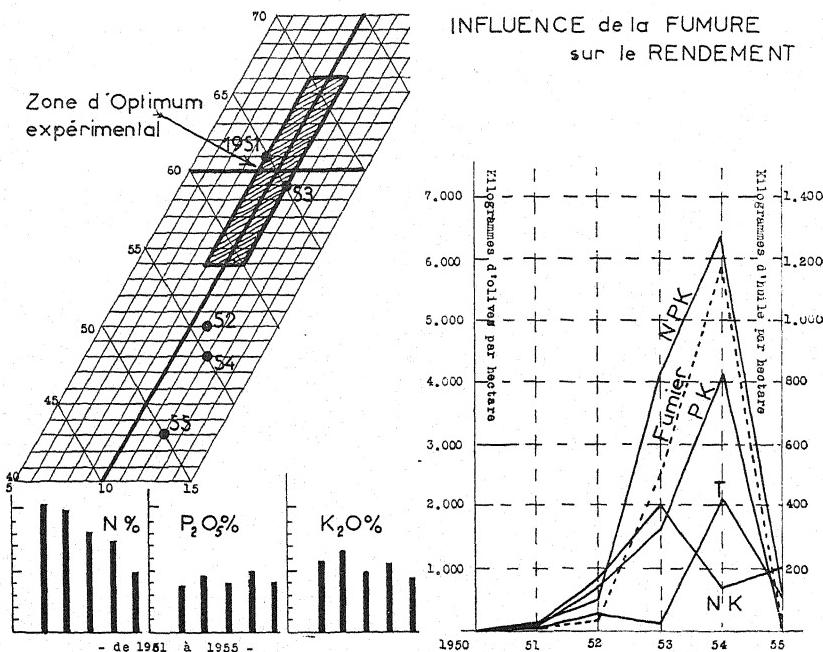


FIG. 3.

qu'il ne nous a été possible d'expliquer que par des dégâts dus à la gelée. Si l'on considère que le rendement moyen du colza est en France de l'ordre de 600 kg à l'hectare, on peut considérer les rendements obtenus avec des arbres aussi jeunes, comme remarquables. Ceux-ci n'avaient subi jusqu'alors aucune taille, (ce qui supprime toute réserve durant cette période de formation) et leur port était celui de buisson (qui leur est certes plus naturel que celui que l'on crée habituellement, par une taille de formation beaucoup trop sévère). Conjointement à l'augmentation de rendement la fumure complète a aussi amené une augmentation de la grosseur des olives qui sont passées de 1,980 gr pour le témoin à 3,880 gr pour la fumure complète (Fig. 3).

L'année 1955 a vu un effondrement général de la production (voir graphique) puisque la fumure qui a donné la plus forte production (fumure N-K) est arrivée péniblement à 2,500 kg, soit 200 kg d'huile/hectare, comme

si nos arbres commençaient à se mettre « en alternance ». On sait que c'est là un cas général dans les productions oléicoles. Nous avons essayé d'expliquer cette chute générale des rendements par l'analyse foliaire (*).

En ce qui concerne tout d'abord les *équilibres physiologiques* : dès 1951, le point représentatif se trouve en plein dans la zone de l'optimum précédemment établie. C'est alors que commencent les productions chiffrables et 1952 voit ce point s'éloigner notablement de notre zone ; mais en 1953, les productions n'étant tout de même pas très élevées, et la fumure prenant de l'importance (troisième année), le point représentatif rejoue à nouveau le rectangle optimum. A partir de cette année, les productions deviennent appréciables et, malgré une fumure relativement forte, nous nous éloignons de plus en plus de la zone que nous avons considérée comme la meilleure.

En ce qui concerne *l'alimentation globale et teneurs critiques* :

Les variations ainsi observées ne sont pas dues aux teneurs des feuilles en acide phosphorique ou en potasse. En effet, ces teneurs, malgré les rendements croissants n'ont pratiquement pas évolué. P_2O_5 varie entre 0,40 % et 0,50 %, la potasse entre 1,55 % et 1,45 %, et cela de façon désordonnée avec les années. En revanche, si nous considérons les variations de l'azote, nous nous apercevons que celui-ci descend régulièrement depuis l'année 1951 (2,00 %) pour atteindre en 1955, année de non production, la teneur la plus basse de 1,40 %.

Cette observation aurait dès lors dirigé notre action ultérieure dans la conduite de notre oliveraie : fumure azotée plus abondante d'une part, d'autre part, début de la taille, afin de faire porter cette fumure sur une quantité de feuillage moins importante. Malheureusement la gelée massive de 1956 (-23°) est venue détruire complètement cet essai et ne nous permettra pas de voir la réponse de la plante à ces deux facteurs de l'équilibre végétatif : fumure et taille, dans un avenir proche.

AUTRES RÉSULTATS.

Les problèmes de fumure ne sont pas les seuls qui relèvent de la méthode du diagnostic foliaire ainsi présentée.

1^o — Au cours de nos échantillonnages, nous avions eu l'occasion de faire des prélèvements sur des arbres atteints de fumagine. Les feuilles analysées, non dépouillées de leur champignon, présentaient des augmentations des teneurs azotées assez grandes. Ceci nous amenait à poser le problème de l'influence de la fumagine soit, par le noircissement qu'elle impose à la feuille, soit directement (ce qui est assez extraordinaire, étant donné que le miellat, aux dépens de qui elle vit, passe pour uniquement glucidique) (1).

2^o — De même, nous avons suivi les effets des incisions annulaires

(*) Travail en cours.

sur la variété Verdale, chez laquelle cette pratique représente une façon de conduite de l'arbre. Les quelques chiffres ci-dessous obtenus avec un même arbre sur les rameaux incisés ou non, avant ou après l'incision, nous montrent le sens vers lequel évoluent les teneurs des feuilles et font comprendre la relation entre ces teneurs et le fait qu'au-dessous de l'incision, les rameaux deviennent plus nombreux et plus vigoureux (*).

	N % de la matière sèche	Alimentation globale
Rameau non incisé	1,47 %	2,27 %
Rameau incisé		
au-dessus	1,07 %	1,71 %
au-dessous	1,59 %	2,33 %

On voit que les rameaux incisés présentent deux milieux séparés par l'incision : au-dessus, milieu vieillissant (par rapport au reste de l'arbre), au-dessous, milieu rajeuni, puisque les teneurs se trouvent augmentées de plus de cinquante pour cent par rapport aux parties situées au-dessus.

3° — Aux cours des hivers normaux (sans périodes de chaleur hors saison), il n'est pas rare de voir les températures descendre aux environs de — 15° dans les régions méridionales, mais les arbres n'étant pas en sève (comme ce fut le cas durant le dernier hiver), l'effet de la gelée ne se fait sentir que sur certains arbres, en général des arbres dont la production fut abondante l'année précédente. Nous avons pu ainsi mettre en évidence les relations entre rendements et teneurs en éléments minéraux de la feuille (en potasse en particulier) et les effets de la gelée. Seuls les arbres dont les teneurs en K₂O et P₂O₅ descendent au-dessous de certaines valeurs, subissent des dégâts plus ou moins marqués (5).

4° — Pour terminer, disons un mot sur un problème en cours d'étude :

C'est celui de la variabilité de la date de floraison des arbres, suivant les fumures qu'ils ont reçues ou plus exactement, suivant les teneurs en azote et acide phosphorique de leurs feuilles. Nous avons vu, pour plusieurs variétés : Picholine, Lucques, Arbequine, les floraisons suivre avec beaucoup de précision les rapports $\frac{N}{P_2O_5}$ des feuilles. Plus ces rapports étaient élevés, plus la date de floraison était avancée (**).

Ceci peut présenter une importance pratique assez grande. En effet, certaines variétés auto-stériles ont besoin des arbres du voisinage pour être pollinisées et du fait des décalages N-P₂O₅ dont nous venons de parler, des cas de floraison avancée peuvent se rencontrer où ces variétés pollinisateur ne sont pas encore en état de fournir leur pollen. Ceci pourrait expliquer certaines causes de coulures pour ces variétés auto-stériles.

(*) Troisième mémoire déjà cité.

(**) Travail en cours.

Malheureusement, l'étude de ce problème ne pourra être poursuivie de façon immédiate par suite de la destruction de nos arbres par les gelées déjà signalées.

BIBLIOGRAPHIE

1. BOUAT, A., RENAUD, P. et DULAC J. Etude sur la physiologie de la nutrition de l'Olivier (1^{er} Mémoire). Annales agronomiques, 1951, n° 6, pp. 828-848.
2. BOUAT, A., RENAUD, P. et DULAC, J. Etude de la nutrition de l'olivier par le diagnostic foliaire. Ac. S. Agriculture, 16 déc. 1953.
3. BOUAT, A., RENAUD, P. et DULAC, J. Etude sur la physiologie de la nutrition de l'olivier (2^e Mémoire). Annales Agronomiques, 1953, n° 4, pp. 599-628.
4. BOUAT, A., RENAUD, P. et DULAC, J. Etude sur la physiologie de la nutrition de l'olivier (3^e Mémoire). Annales Agronomiques, 1954, n° 4, pp. 459-488.
5. BOUAT, A., RENAUD, P. et DULAC, J. Etude sur la physiologie de la nutrition de l'olivier (4^e mémoire). Gelée et diagnostic foliaire. Annales Agronomiques, 1955, n° 4, pp. 635-650.

DISCUSSION

OPPENHEIMER, Rehovot, Israël. — *Quels caractères distinguent les oliviers mal soignés des oliviers bien cultivés et y a-t-il augmentation de calcium dans les feuilles ?*

R. — C'est surtout sur le déplacement vers le bas du point représentatif que se fait cette différenciation, c'est à-dire vers une teneur azotée relative, plus faible. Nous n'avons rien observé de spécial pour les teneurs en calcium.

DUMAS (I. F. A. C.). — *M. Bouat a-t-il observé des modifications dans les courbes de teneur des éléments minéraux au moment de la floraison ?*

R. — A aucun moment, la floraison ne s'est marquée sur nos courbes.

HALAIS. — *Si les différentes variétés de plantes (canne à sucre notamment) offrent des équilibres nutritifs assez analogues lorsqu'elles sont cultivées dans le même milieu, ceci n'est pas suffisant lorsqu'il s'agit de conseiller les cultivateurs. La variété doit être prise en considération pour ces études plus poussées.*

R. — Parfaitement d'accord avec M. Halais : si des variétés différentes poussant dans un même milieu ont des équilibres physiologiques assez voisins. En revanche, les alimentations globales sont très différentes.

L'alimentation minérale des orangers d'après l'analyse des feuilles

(Premières recherches sur le diagnostic foliaire des agrumes au Maroc)

par

J. C. PRALORAN et F. MINOT

Section Expérimentation du Service de l'Horticulture, à Rabat, Maroc

Le premier essai systématique de fumure minérale des agrumes fut entrepris au Maroc par le Service de l'Horticulture, en 1951.

Outre les observations sur la végétation, le rendement, etc... qui ont déjà fait l'objet d'un compte rendu (1), le programme d'étude prévoyait la recherche des liaisons existant entre la production et l'alimentation des arbres par la technique du « diagnostic foliaire ».

Cette seconde partie du programme ne put être abordée qu'en 1954. Les résultats dont il est fait état dans cette note sont encore fragmentaires, n'ayant trait qu'à deux années d'observations : 1954 et 1955.

Cependant, dès 1953, des études préliminaires purent être effectuées dans le but de déterminer, parmi celles proposées par différents auteurs (2, 3, 4, 5, 6), la meilleure méthode de prélèvement des feuilles. Celle de W. Reuther et P. Smith (4) fut retenue.

PROTOCOLE D'ESSAI

CARACTÉRISTIQUES DU CHAMP D'ESSAI.

Le carré expérimental présente les caractéristiques suivantes :

- Plantation située à Sidi Slimane dans le Rharb, dans la zone agrumicole la plus importante du Maroc.
- Variété « Washington Navel », greffée sur bigaradier, arbres âgés de 15 ans en 1954.
- Sol assez compact proche des Dess.
- Homogénéité des arbres satisfaisante, quoique l'orangeraie ait souffert d'un manque de soins pendant la guerre et durant cette période, ait seulement reçu, en 1950, 500 gr. d'azote sous forme de sulfate d'ammoniaque.
- Un essai en blocs à 4 répétitions a pu être implanté sur les 4 ha mis à la disposition du Service de l'Horticulture. Chaque parcelle se compose de 9 arbres, les 8 arbres de tour servant de ligne de bordure.

FORMULES DE FUMURE EXPÉRIMENTÉES.

— Seules 18 combinaisons des 3 éléments majeurs N, P, K ont pu être expérimentées sur cette surface limitée, alors qu'une étude complète eût demandé 27 parcelles par bloc.

— Les formules étudiées combinent de toutes les manières possibles, compte tenu de la réserve faite ci-dessus :

— 4 doses d'azote : 0,500 — 1,000 — 1,500 et 2,000 kg par arbre (A) apportées en trois fois : 1/3 en février, 1/3 en juin et 1/3 en fin août, sous forme de sulfate d'ammoniaque.

— 3 doses d'acide phosphorique : 0 — 0,250 et 0,500 kg par arbre, apportés en une seule fois en février, sous forme de superphosphates de chaux 18 %.

— 3 doses de potasse : 0 — 0,300 et 0,600 kg par arbre apportés en une seule fois en février, sous forme de sulfate de potasse.

PRÉLÈVEMENT DES FEUILLES.

Les prélèvements de feuilles ont été effectués régulièrement chaque mois, de juin à décembre 1954 (sauf en octobre et novembre) et de mars à août 1955. D'autre part, un premier prélèvement a été effectué en décembre 1953 au moment de la récolte. Mais seul le dosage de l'azote a été exécuté sur les échantillons provenant de ce prélèvement.

CARACTÈRES ÉTUDIÉS ET MÉTHODES D'ANALYSE DES RÉSULTATS UTILISÉES.

Le dépouillement de tous les résultats d'analyse des échantillons (B) n'étant pas encore terminé, seuls certains points peuvent être exposés dans ce compte rendu.

Ils concernent :

1^o — L'influence respective des fumures N, P et K sur la teneur des feuilles en ces éléments et le rythme de l'alimentation des feuilles aux différentes époques de prélèvement, dans les conditions de l'essai.

2^o — L'alimentation moyenne des feuilles deux mois après la floraison.

3^o — Les relations des éléments entre eux dans les feuilles prélevées deux mois après la floraison.

4^o — Les relations entre l'alimentation N, P, K des feuilles deux mois après la floraison et le rendement.

(A) Il convient de noter que de 1951 à 1953, les doses d'azote étaient seulement de 0,500 — 1,000 et 1,500 par arbre, certaines formules ne comportant pas cet élément. A la suite de la diminution de vigueur des arbres ne recevant pas d'azote, et de leur rendement de plus en plus faible, il a été décidé d'abandonner ces formules en modifiant les doses apportées de la manière suivante : les arbres recevant 0,500 et 1,00 kg continuèrent à recevoir ces doses, ceux recevant 1,500 kg reçurent 2,00 kg à partir de 1954, et les arbres n'ayant jamais eu d'azote en reçurent 1,500 kg. Ceci modifiait l'essai au minimum possible.

(B) Le dosage des éléments a été effectué par microkjeldahl par l'azote par colorimétrie pour le phosphore } sur résidu d'attaque sulfoni-
par photométrie à flamme pour la potasse } trique de la poudre de feuille.

Cette époque suivant la nouaison et la chute physiologique des jeunes fruits, paraissant cruciale quant au rendement, l'analyse des résultats la concernant fut donc effectuée en premier lieu. W. W. Jones, F. W. Embleton et J. C. Johnston ont d'ailleurs adopté cette opinion (2). Ceci ne préjuge en aucune manière de l'importance d'autres époques : préflorale, florale et de poussée d'automne par exemple.

Les données recueillies ont été analysées statistiquement selon trois méthodes :

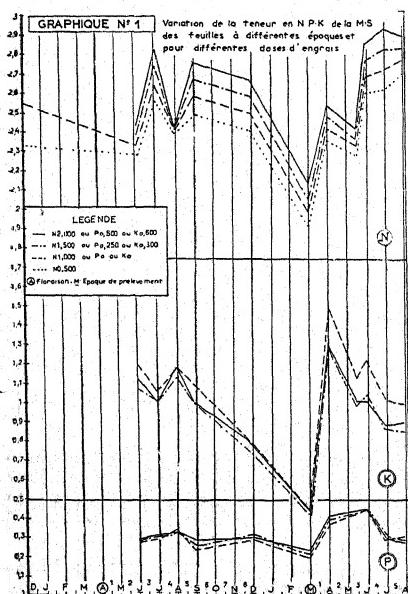
- calcul de l'équation de régression et de sa probabilité, pour 2 variables normalement distribuées ;
 - calcul des caractéristiques d'un grand échantillon (écart type et coefficient de variabilité) ;
 - calcul du coefficient de liaison qui vient d'être établi par M. Trystram (7).

INFLUENCE RESPECTIVE DES FUMURES N,P,K SUR LA TENEUR EN N. P ET K DES FEUILLES.

Dans cette première partie de l'étude, la corrélation entre les différentes doses de chaque élément apportées par la fumure, et la teneur des feuilles en cet élément (N, P ou K) a été calculée pour chaque époque de prélèvement.

Le graphique n° 1 ci-contre matérialise les résultats obtenus et son étude permet de relever les faits suivants :

— Pour l'azote, les quantités dosées dans les feuilles sont d'autant



plus élevées que la fumure azotée est plus forte (probabilité de la régression : 0,01), sauf en août 1954 où elles ne différaient pas statistiquement entre elles. Ce résultat concorde avec ce que dit W. Reuther (4,8) : « Une augmentation de la concentration de N dans les feuilles suit habituellement une application d'engrais... ».

— Pour l'acide phosphorique, l'assimilation à une équation rectilinéaire n'est possible (avec le même seuil de probabilité que pour N) que pour septembre 1954, mars et avril 1955.

Hormis ces trois cas, non seulement l'augmentation de la teneur des feuilles en P n'est pas liée significativement à une augmentation

de l'élément dans la fumure, mais en août et décembre 1954, juin, juillet et août 1955, cette teneur varie sans aucune liaison avec la quantité de P apportée par la fumure.

— Pour la potasse, aucun ajustement à une courbe de régression n'a pu être établi, et les teneurs des feuilles en K ne sont à aucune des époques considérées en relation directe avec la quantité de K apportée par la fumure.

Un second point très important mis en lumière par ce graphique est le rythme alimentaire qui est le même pour chaque élément considéré isolément, quels que soient son taux dans les feuilles et son importance dans la fumure. Les quatre courbes trouvées pour N et les trois courbes trouvées pour P et pour K présentent des variations de même sens aux mêmes époques pour des niveaux différents.

D'autre part, compte tenu du fait que la floraison a eu lieu en avril 1954 et en mars 1955, ce qui décale le cycle végétatif par rapport aux mois grégoriens, il est à remarquer que le rythme d'assimilation est le même pour les deux années, sauf à la fin de la période estivale, ceci impliquant une périodicité de l'alimentation dépendant de l'arbre lui-même plus que des conditions de milieu (6).

Enfin, si le niveau de N, P et K dans les feuilles est bas en décembre, il l'est toutefois moins que durant la période préflorale (mars 1955). Malgré le caractère très fragmentaire des renseignements disponibles à ce sujet, il paraît possible d'admettre que la période préflorale et non l'hiver, serait l'époque du minimum de richesse des feuilles, d'autant plus que le même abaissement de cette richesse se manifeste quelle que soit l'importance de l'apport d'engrais. Si cette théorie se confirmait ultérieurement, la période préflorale (février, mars) ne serait pas celle où l'arbre doit être le plus alimenté. Par contre, la très importante augmentation du taux des trois éléments dans les feuilles, de mars à avril, marque bien les besoins de l'arbre au moment de la floraison. Or, cette augmentation suit de trop près l'épandage de la fumure de printemps pour en être l'effet, non seulement pour P et K, mais également pour N qui, à cette époque froide et pluvieuse, est encore peu rapidement assimilable. Il faudrait donc admettre soit que les fumures P et K épandues au printemps précédent (1 an avant) et le dernier 1/3 de la fumure N, épandu en fin août précédent (6 mois avant) sont encore disponibles, ou que l'arbre constitue, ailleurs que dans ses feuilles, des réserves utilisables à la période convenable. Quoi qu'il en soit, l'époque d'épandage semble, d'après ces résultats, avoir beaucoup moins d'importance qu'il ne lui en est accordé habituellement. Ceci est d'ailleurs l'opinion de différents chercheurs (4, 9).

Deux petits essais de contrôle, établis par les soins du Service de l'Horticulture à Témara et à Salé, et dont les résultats ne sont pas publiés, paraissent confirmer cette théorie. En effet, dans ces deux essais, la fumure NPK a été épandue en une seule fois en février, et l'allure des courbes de la teneur des feuilles en azote (seul élément dosé) est identique à celle établie pour ce même élément dans le présent essai.

La dernière remarque que suggère l'examen du graphique a trait aux variations comparées de N et de K dans les feuilles de juin à septembre 1954. A l'augmentation d'un élément correspond en effet, pendant cette période, un abaissement de l'autre. Cet « antagonisme » ne se retrouve pas en 1955, mais l'étude plus poussée des résultats, qui sera exposée par la suite, le fait également ressortir. Il convenait donc de le signaler dès à présent.

En résumé, l'étude de l'influence des fumures N, P et K sur la teneur des feuilles en ces éléments a permis d'établir les faits suivants :

1^o — La teneur des feuilles en azote est directement liée à la quantité de cet élément dans la fumure. Pour le phosphore, cette liaison n'apparaît qu'à certaines époques ; quant à la potasse, la liaison n'a pu être établie.

2^o — Le rythme alimentaire des arbres de l'essai est identique pour les trois éléments considérés séparément, quelle que soit la dose de fumure mise à leur disposition.

3^o — L'accroissement important de la richesse des feuilles à la période florale ne semble pas dû à la fumure qui vient juste d'être mise en place, et n'a sans doute pas eu le temps d'exercer ses effets. Elle correspondrait plutôt à un besoin de l'arbre qui, à cette époque, paraît soit puiser dans le stock préexistant d'éléments fertilisants du sol, soit mobiliser des réserves localisées dans d'autres parties que les feuilles. Si cette théorie déjà admise par certains auteurs (4,9) se vérifiait totalement, la question des époques d'épandage perdrait de son importance, celle du maintien constant d'un niveau satisfaisant de fertilité étant alors la seule à considérer.

ALIMENTATION MOYENNE DES FEUILLES DEUX MOIS APRÈS LA FLORAISON

Il a paru intéressant de déterminer, sans tenir compte des fumures apportées et des rendements obtenus, l'alimentation moyenne des arbres du verger expérimental en 1954 et en 1955.

L'étude a porté sur le pourcentage de chacun des éléments, N, P et K dans la M. S. des feuilles deux mois après la floraison, l'alimentation globale (% de N + % de P + % de K) et la proportion de chaque élément dans l'unité nutritive (alimentation globale posée égale à 100).

La méthode d'analyse des résultats est celle du calcul des caractéristiques d'un grand échantillon ; les polygones de fréquences d'apparition des différentes valeurs trouvées pour les éléments étudiés ont également été tracés (voir les graphiques n° 2 à 8).

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau n° 1 ci-contre :

L'examen de ce tableau montre que l'alimentation a très peu varié d'une année à l'autre, sauf en ce qui concerne le phosphore. Cependant, le rendement moyen, qui n'est que de 77 kg par arbre en 1954, passe à 136 kg en 1955. De même, les graphiques matérialisant la répartition des différentes valeurs prises par les composants de l'alimentation font apparaître, sauf toutefois pour le phosphore, une grande similitude entre les deux cam-

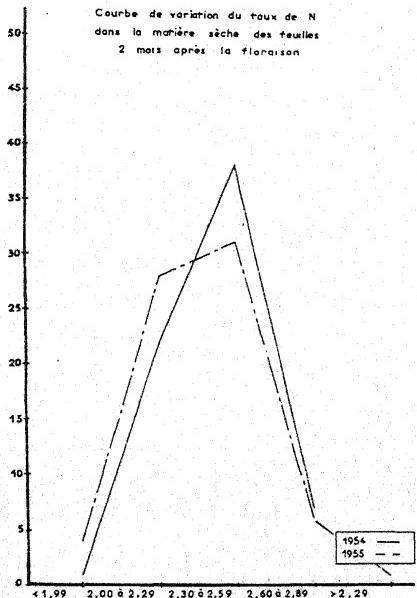
TABLEAU I

Composants de l'alimentation des arbres	Année	\bar{x}	σ	C. V.
Pourcentage de N dans la M. S. des feuilles ..	1954	2,36 %	$\pm 0,190$	8,05
	1955	2,31 %	$\pm 0,203$	8,78
Pourcentage de P dans la M. S. des feuilles ..	1954	0,377 %	$\pm 0,050$	13,26
	1955	0,470 %	$\pm 0,045$	9,57
Pourcentage de K dans la M. S. des feuilles ..	1954	1,11 %	$\pm 0,120$	10,88
	1955	1,09 %	$\pm 0,162$	14,86
Alimentation globale	1954	3,75 %	$\pm 0,256$	6,82
	1955	3,76 %	$\pm 0,287$	7,63
Proportion de N dans l'unité nutritive	1954	62,51 %	$\pm 3,835$	6,13
	1955	61,71 %	$\pm 3,655$	5,92
Proportion de P dans l'unité nutritive	1954	7,71 %	$\pm 1,309$	16,97
	1955	11,49 %	$\pm 2,109$	18,83
Proportion de K dans l'unité nutritive	1954	29,52 %	$\pm 3,466$	11,74
	1955	27,12 %	$\pm 3,130$	11,15

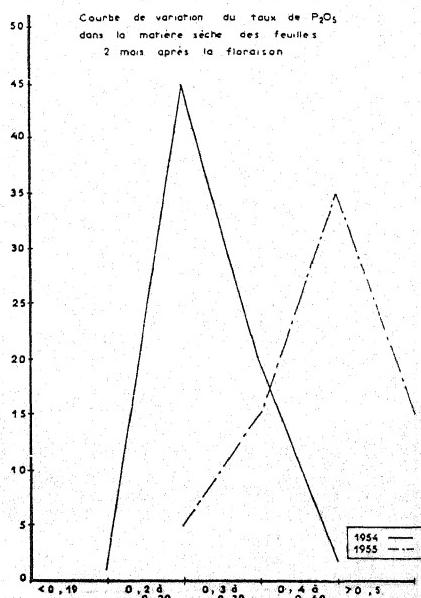
pages, à ceci près que les courbes représentant le pourcentage de N dans les feuilles, l'alimentation globale et la proportion de K dans l'unité nutritive sont plus étalées en 1955 qu'en 1954.

Ceci montre bien que la modification du pourcentage dans la M. S. des feuilles, ou de la proportion dans l'unité nutritive d'un seul des trois

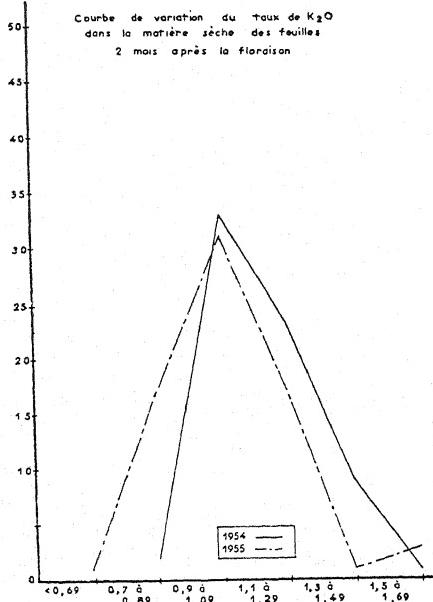
GRAPHIQUE N° 2



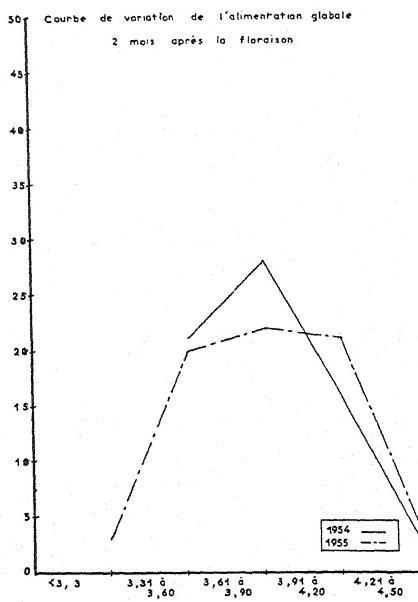
GRAPHIQUE N° 3



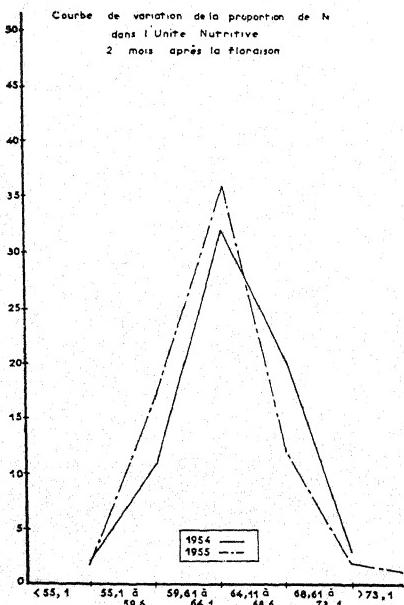
GRAPHIQUE N° 4



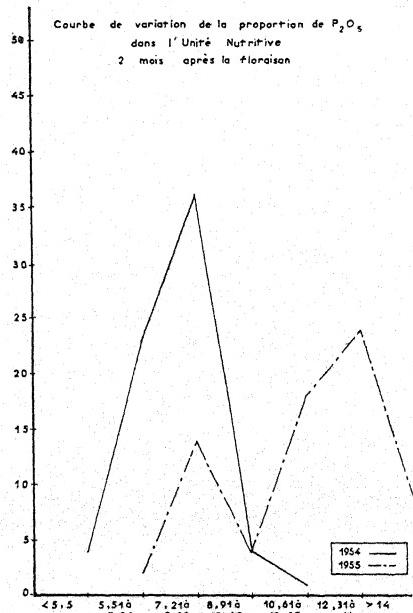
GRAPHIQUE N° 5



GRAPHIQUE N° 6



GRAPHIQUE N° 7

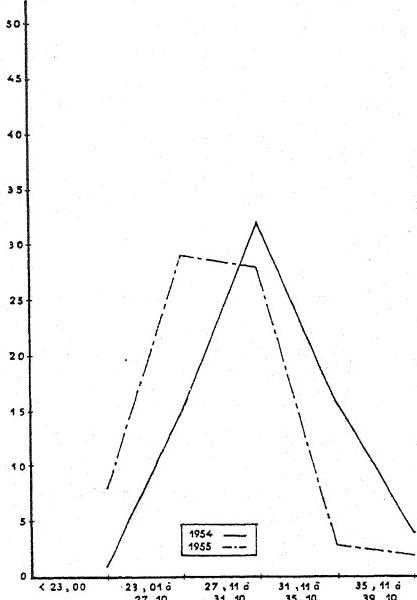


éléments considérés, le phosphore dans le cas présent, suffit à modifier profondément les rendements. Il apparaît cependant dans cette expérience que le niveau de phosphore dans les feuilles se situe dans les limites fixées par certains chercheurs pour définir la carence ou l'excès (4, 6).

L'établissement de ces valeurs moyennes démontre bien qu'il est difficile, sinon impossible, de fixer un taux optimum à la teneur des feuilles en quelque élément que ce soit, correspondant à un « bon » rendement ; il est donc nécessaire de tenir compte des rapports des éléments entre eux, sauf s'il s'agit simplement de fixer des limites aux pourcentages des éléments dans les feuilles telles que leur dépassement conduise à une carence ou à un excès.

GRAPHIQUE N° 8

Courbe de variation de la proportion de K_{2O}
dans l'Unité Nutritive ...
2 mois après la floraison



RELATIONS DES ÉLÉMENTS ENTRE EUX DANS LES FEUILLES PRÉLEVÉES DEUX MOIS APRÈS LA FLORAISON

Des « coefficients de liaison » ont été calculés par la méthode de Trystram (7) entre les différentes caractéristiques étudiées (A) ; ces liaisons consistent soit en une croissance corrélative des deux variables considérées (liaison directe), soit en la croissance de l'une et la décroissance de l'autre (liaison inverse). Elles sont résumées ci-après (tableau page 330).

Ces liaisons permettent d'établir les faits suivants :

— l'« antagonisme » entre N et K déjà constaté dans les feuilles en 1954, se confirme ici, mais entre les proportions de chacun de ces 2 éléments dans l'unité nutritive.

Les relations de P avec les deux autres éléments sont plus délicates à définir. En effet, il apparaît d'une part que :

— P. F. étant lié directement à P. UN et inversement à N. UN ; P. UN et N. UN seraient en relation inverse.

(1) Les auteurs remercient très vivement M. TRYSTRAM de l'aide efficace qu'il leur a accordée, tant en leur faisant connaître sa méthode des coefficients de liaison, qu'en leur apportant son concours lors de l'interprétation des résultats de l'analyse effectuée selon sa méthode.

D'autre part :

— K. UN étant lié inversement à N. UN et à P. UN, ces deux dernières seraient alors en relation directe, ce qui contredit la constatation précédente.

Liaisons constatées	Sens de la liaison	Intensité de la liaison
N. F. et N. UN	directe	non étroite
P. F. et K. UN	directe	étroite
K. F. et K. UN	directe	étroite
A. G. et N. F.	directe	étroite
A. G. et K. F.	directe	étroite
A. G. et K. UN	directe	étroite
A. G. et N. UN	inverse	non étroite
N. UN et K. UN	inverse	étroite
N. F. et K. UN	inverse	étroite
K. F. et N. UN	inverse	étroite
P. F. et N. UN	inverse	étroite
P. UN et K. UN	inverse	non étroite
P. UN et K. F.	inverse	non étroite
P. UN et A. G.	inverse	non étroite

Légende

N. F., P. E., K. F. = pourcentage de N, de P ou de K dans la M. S. des feuilles.

A. G. = alimentation globale.

N. UN, P. UN, K. UN = proportion de N, de P ou de K dans l'unité nutritive.

Ces symboles seront également utilisés par la suite.

La seule conclusion provisoire possible serait d'admettre le rôle « compensateur » joué par P entre les deux éléments N et K.

— L'alimentation globale est liée directement aux pourcentages de N et de K. Par contre, aucune liaison directe n'existe entre elle et le pourcentage de P dans les feuilles, ce qui confirme la difficulté de préciser le rôle de P dans l'alimentation des arbres.

Le fait que N et K varient en sens inverse et soient quantitativement les plus importants, implique qu'une même valeur de l'alimentation globale peut être obtenue à partir de teneurs différentes des feuilles en ces éléments.

En voici un exemple :

N.F. : 2,90 ou 2,00 et N.UN : 74,93 ou 50,12

P.F. : 0,39 ou 0,30 et P.UN : 9,77 ou 7,51

K.F. : 0,70 ou 1,69 et K.UN : 17,54 ou 42,35

A.G. : 3,99 3,99

D'autre part, une même teneur des feuilles en l'un des éléments peut correspondre à des proportions différentes de cet élément dans l'unité nutritive, par exemple :

N.F. : 2,50 ou 2,50 et N.UN : 55,00 ou 71,00

P.F. : 0,55 ou 0,20 et P.UN : 12,11 ou 5,68

K.F. : 1,49 ou 0,82 et K.UN : 32,81 ou 23,29

A.G. : 4,54 ou 3,52

En conséquence, ce qui est vrai pour N l'étant également pour P et K, les relations directes enregistrées entre le pourcentage de chaque élément dans les feuilles et la proportion de ce même élément dans l'unité nutritive, ne sont exactes que si l'élément est considéré isolément ; ces relations pouvant être fortement modifiées si l'alimentation varie.

Ces remarques conduisent aux conclusions suivantes :

1^o — Les pourcentages de N, de P et de K trouvés dans les feuilles à un moment donné sont insuffisants pour permettre de déterminer l'alimentation optima correspondant au rendement optimum, en effet aucune liaison n'a été trouvée entre ces pourcentages et les rendements.

2^o — L'alimentation globale n'est également pas suffisante pour permettre cette détermination, puisqu'elle peut correspondre à des pourcentages et à des proportions des trois éléments très différents.

3^o — Ceci conduit donc à donner à la composition de l'unité nutritive l'importance la plus grande, sous réserve évidemment que l'un des trois, ou les trois éléments ensemble, ne soient en si faible ou si forte quantité dans les feuilles qu'ils provoquent une carence ou un excès.

RELATIONS ENTRE L'ALIMENTATION N, P, K DES FEUILLES DEUX MOIS APRÈS LA FLORAISON ET LE RENDEMENT

Avant que d'exposer les résultats obtenus en cette matière, il convient de signaler que les deux campagnes sur lesquelles porte l'étude ont été très dissemblables quant au rendement. En effet, en 1954, année qui s'annonçait moyenne, un accident d'irrigation a conduit à un déficit en eau qui peut être évalué à 1.000 m³/ha et ceci à la période des plus grands besoins (août) ; il s'en est suivi un abaissement sensible du rendement dû à une réduction des calibres et non à une chute des fruits.

Par contre, la campagne 1955 se caractérise par une excellente récolte (rendement maximum enregistré : 245 kg).

Cette dissemblance a pris une grande importance en raison des faits suivants : dans la méthode de Trystram (7), chaque caractéristique étudiée (N. F., P. F., K. F., A.G, N.UN, P.UN, K.UN, Rendement) étant divisée en caractères (différentes valeurs prises dans l'expérience par la caractéristique considérée) les rendements se sont trouvés répartis, comme l'indique le tableau n° 2 en 8 caractères.

Or, dans une même classe se trouvent groupés des rendements de 1954 et de 1955 de même valeur quantitative mais non qualitative, puisque par exemple un rendement de 100 kg doit être considéré comme bon en 1954 et à peine moyen en 1955. Les chiffres ci-dessous rendent bien compte de ce décalage :

Années	Rendement		
	Maximum	Minimum	Moyen
1954	116 kg	41 kg	77 kg
1955	245 kg	76 kg	136 kg

Ceci, faute d'avoir fait intervenir dans les calculs la caractéristique « Années » (par suite d'une erreur matérielle), conduit à des indéterminations dans les liaisons entre certains rendements et les composants de l'alimentation des arbres.

Les résultats de l'analyse des différents coefficients de liaison permettent cependant d'établir le tableau suivant qui ne regroupe que les catégories de rendements pour lesquelles des données précises ont été obtenues :

Constituants de l'alimentation de l'arbre	Rendement			
	>75 kg	>125 kg	>175 kg	> 200 kg
N. F.	>2,60	>2,60	indétermination	indétermination
P. F.	>0,30	de 0,30 à 0,39 ou >0,5	0,30 à 0,39	0,30 à 0,39
K. F.	> 1,50	>1,50	0,90 à 1,09	1,10 à 1,29
A. G.	>4,21	>4,21	indétermination	3,91 à 4,50
N. UN	<55,10 ou 68,61 à 93,1	<55,1 ou 59,51 à 64,10	59,61 à 64,10	59,61 à 64,10
P. UN	de 7,21 à >14,00	7,21 à 14,00	7,21 à 10,60	7,21 à 12,30
K. UN	<23,00 ou 27,11 à 31,10	27,11 à 31,10	27,11 à 31,10	27,11 à 31,10

Sous réserve que pour une catégorie de rendement déterminée tous les constituants de l'alimentation de l'arbre restent dans les limites définies dans le tableau ci-dessus, il est permis d'étudier isolément le cas de chacun de ces constituants.

— Pour l'azote, il apparaît seulement que la teneur des feuilles > 2,60 % est liée à tous les rendements > 75 kg. Aucune précision supplémentaire n'a pu être retirée de l'étude entreprise.

— Le phosphore dans les feuilles paraît passer par un optimum. En effet, si pour les rendements les plus élevés (> 200 kg) les limites sont nettement définies entre 0,30 et 0,39 %, pour ceux 125 kg, deux cas sont possibles : teneur en P de 0,30 à 0,39 %, ou > 0,50 %. Enfin, seule la limite inférieure 0,30 % est fixée pour les rendements > 75 kg. Quoique pour les teneurs en P allant de 0,40 à 0,49 %, aucun résultat plus précis que la liaison avec cette dernière catégorie de rendement n'ait pu être obtenu, il semble possible d'admettre un abaissement régulier du rendement lorsque la teneur en P des feuilles passe de 0,39 à plus de 0,50 %.

D'autre part, les teneurs comprises entre 0,30 et 0,39 % étant liées à tous les rendements supérieurs à 125 kg, il faut admettre que la teneur des feuilles en P égale à 0,30 % constitue un seuil très marqué à partir duquel les rendements augmenteraient brutalement.

— En ce qui concerne la potasse également un optimum de la teneur des feuilles compris entre 1,10 à 1,29 % se manifeste. D'autre part, il apparaît qu'une diminution de cette teneur, la ramenant entre 0,90 à 1,09 % conduit à un abaissement du rendement beaucoup plus faible qu'une augmentation de cette teneur au-dessus de 1,50 %.

— L'alimentation globale est moins bien définie, elle doit être comprise entre 3,91 et 4,50 pour obtenir les rendements les plus élevés.

Il semblerait d'autre part qu'il n'y ait pas intérêt à avoir une alimentation globale supérieure à 4,21, puisqu'à partir de cette valeur elle est liée à tous les rendements supérieurs à 75 kg. L'optimum se situerait donc plus vraisemblablement entre 3,91 et 4,20.

— La proportion de N dans l'unité nutritive présente un optimum compris entre 59,61 et 64,10 %, l'abaissement comme l'augmentation de cette valeur conduit à une diminution des rendements, qui paraît être aussi importante dans les deux cas.

— Les variations de la proportion de P dans l'unité nutritive en fonction du rendement, sont plus difficiles à expliquer.

En effet, si l'optimum se situe entre 7,21 et 12,90 % pour les rendements > 200 kg, la réduction de cette valeur entre 7,21 et 10,60 pour la catégorie de rendement immédiatement inférieure paraît anormale puisqu'ensuite la limite supérieure de la proportion de P atteint 14,00 % et plus. Toutefois, la limite 7,21 % paraît marquer nettement le seuil inférieur de la proportion admissible de phosphore dans l'unité nutritive.

— Pour la potasse, l'optimum qui apparaît entre 27,11 et 31,10 % est valable pour tous les rendements supérieurs à 125 kg, mais si la proportion de cet élément tombe au-dessous de 23,00 %, les rendements seront inférieurs à 125 kg.

* * *

En résumé, il est impossible de connaître exactement les variations de l'alimentation des arbres liées aux modifications du rendement, ce qui est normal après deux seules années d'études, il n'en reste pas moins que des valeurs optima ont pu être fixées pour les rendements les meilleurs, et que pour chaque donnée prise séparément, les décroissances et les augmentations semblent liées à une diminution plus ou moins importante du rendement, sans qu'il soit possible actuellement de définir avec exactitude dans quelle mesure cette action se manifeste.

En ce qui concerne l'optimum alimentaire correspondant aux rendements les plus élevés, les valeurs théoriques trouvées sont en accord avec les données de l'expérience comme le prouvent les deux exemples suivants pris au hasard :

Pour un rendement de 209,400 kg en 1955, l'analyse des feuilles prélevées deux mois après la floraison a donné les valeurs suivantes :

2,656 % d'azote	63,92 % de l'unité nutritive
0,355 % de phosphore	8,54 % — —
1,144 % de potasse	27,53 % — —
4,155 % pour l'alimentation globale	

et pour un rendement de 208,000 kg en 1955 également :

2,587 % d'azote	63,70 % de l'unité nutritive
0,330 % de phosphore	8,12 % — —
1,144 % de potasse	28,17 % — —
4,061 % pour l'alimentation globale.	

Il convient de noter que pour les catégories inférieures de rendement, l'accord est beaucoup moins satisfaisant, ceci tenant très vraisemblablement au fait déjà mentionné de la diminution accidentelle des rendements en 1954, qui conduisent à classer les meilleures récoltes de cette campagne dans des catégories inférieures de rendements.

Enfin, il est à remarquer que les courbes du graphique n° 1 concernant l'azote, matérialisant la teneur moyenne des feuilles en cet élément, se situent en dessous du niveau optimum fixé. Il conviendrait donc, dans le cas bien précis de ce carré expérimental d'augmenter les fumures azotées pour accroître le rendement moyen des arbres. Pour l'acide phosphorique et la potasse, les teneurs moyennes se trouvent dans les limites fixées, et, puisqu'elles concernent des fumures phosphoriques et potassiques variant respectivement de 0 à 0,500 kg ou 0,600 kg par arbre, la plantation ne paraît pas marquer de besoins nets en ces éléments.

CONCLUSIONS

Deux années d'études sur l'alimentation minérale des orangers ont permis d'aboutir aux conclusions suivantes :

1^o — Des 3 éléments apportés par la fumure, seul l'azote trouve son reflet dans la composition des feuilles, qui sont d'autant plus riches en cet élément que la fumure azotée a été plus abondante. Cette correspondance est constatée à quelques époques pour le phosphore également.

2^o — Quelle que soit la fumure apportée, la végétation et le rendement, l'alimentation des arbres en N, P et K ne varie pas dans son rythme mais seulement dans son intensité.

3^o — Les besoins de l'arbre nettement marqués pendant la période florale par l'augmentation du taux des feuilles en N, P et K n'apparaissent pas à la période préflorale dans la richesse des feuilles. Il faut donc admettre soit une absorption rapide des éléments du sol juste au moment de la floraison, soit une localisation hivernale des réserves en d'autres endroits que les feuilles. Quoi qu'il en soit, la question des époques d'épandage de la fumure paraît avoir moins d'importance qu'il ne lui en est souvent accordée.

4^o — Le rendement peut varier, d'une année à l'autre, dans de fortes proportions alors que l'alimentation moyenne des arbres n'est pas sensiblement modifiée et reste dans des limites n'impliquant ni carence ni excès.

La fixation du taux optima pour la teneur en N, P et K des feuilles est donc insuffisante pour définir l'alimentation d'un arbre à rendement élevé, d'autant plus que les variations pour N et K d'une année à l'autre sont extrêmement faibles. D'ailleurs aucune liaison directe n'existe entre les pourcentages de N, de P et de K dans les feuilles et le rendement.

5^o — Les proportions relatives des 3 éléments dans la feuille constituent donc les données les plus importantes pour définir une alimentation satisfaisante des arbres.

6^o — Si les variations de l'alimentation liées aux modifications du rendement, n'ont pu être définies avec précision, des niveaux optima ont pu être fixés provisoirement, dont les limites sont en accord avec les données de l'expérience.

BIBLIOGRAPHIE

1. G. CUENOT. Rapport sur la fumure des Orangers. Compte rendu du III^e Congrès international de l'Agrumiculture méditerranéenne. Alger, 1954.
2. W. W. JONES, F. W. EMBLETON et J. C. JOHNSTON. Les analyses foliaires comme guide des besoins en engrais des orangers, citronniers et avocatiers. Citrus Leaves, juin 1955.
3. H. D. CHAPMAN. Détermination des déficiences (Analyse foliaire). Citrus Leaves, oct. 1949.
4. W. REUTHER et P. F. SMITH. Fruit Nutrition, chap. VII, pp. 256-289.
5. L. BURKHART. L'azote des feuilles d'agrumes. Citrus Leaves, févr. 1948.
6. L. HEYMANN-HERSCHBERG. La teneur en azote et en phosphore des feuilles d'agrumes en Israël : La distribution de la fréquence et les facteurs d'influence. Ktavim, vol. 5, n° 1, p. 19.
7. J. P. TRYSTRAM. Statistique et sociologie, remarques sur la statistique des données qualitatives. Thèse de Doctorat présentée à l'Université de Paris, juill. 1955.
8. W. REUTHER, P. SMITH et A. SPECHT. Une comparaison de la composition minérale des feuilles d'orangers Valencia provenant des principales régions productrices des Etats-Unis. The Citrus Industry, mars 1950.
9. J. C. PRALORAN. Note préliminaire sur les besoins saisonniers en azote des orangers, d'après la teneur des feuilles en cet élément. Fruits et Primeurs, juin 1955.

DISCUSSION

H. BROESHART. — *The data on the blackboard show that the author has obtained several « critical » ranges for the P content of the leaf depending on the magnitude of the yields of the trees. Slight responses to applications of P were obtained which did not result in an increase of the P content of the leaves.*

Similar cases have been observed in the Belgian Congo in the Oil Palm culture, where for several years no responses to applications of P could be obtained, although leaf analysis showed extremely low P contents of the leaves. After soil analysis was carried out, it appeared that the soil was capable of fixing large amounts of phosphate in a form not available for the palms. As soon as this was known, heavy applications of rock phosphate, at a rate of 10 kg of rock phosphate per palm, were made and resulted in an increase of production of 20% already one year after the applications, which corresponded with an increase in P content to a « normal » level.

It might be possible that this would also be the case in Maroc.

R. — M. Broeshart fait ressortir un aspect du problème qui n'a pas encore été étudié. Le manque de phosphore des sols est un caractère général des sols marocains et il se peut que la fumure phosphorique apportée chaque année soit rapidement fixée sous forme inassimilable.

Cependant ceci ne suffit pas à expliquer pourquoi la fumure phosphorique influe sur le rendement sans se réfléter dans la teneur des feuilles en phosphore.

Dans l'état actuel d'avancement des travaux, il est simplement possible de constater le fait, seules les études à venir pouvant permettre de l'expliquer.

M. OLLAGNIER. — *Discussion sur méthode de calcul employée par Praloran d'après Trystram. Quelle est la supériorité de la méthode sur le calcul des coefficients de corrélation ?*

R. — La méthode de calcul de M. Trystram est utilisée par la Régie des Tabacs au Maroc. C'est à la suite des résultats obtenus par cet organisme dans le contrôle des plantations (détermination de l'influence de nombreux facteurs sur le rendement et la qualité du tabac) que cette méthode a été utilisée pour l'analyse des résultats de l'essai d'application du diagnostic foliaire à l'oranger. Elle présente l'avantage de permettre de déterminer l'influence de la modification de chacun des caractères étudiés sur tous les autres. Par expl.: deux rendements identiques peuvent être liés à des teneurs plus ou moins élevées d'azote dans les feuilles, mais chacune de ces teneurs sera à son tour liée avec des teneurs différentes en P et en K. Elle paraît donc mettre mieux en évidence la notion d'équilibre.

M. LEVY. — 1) *A quelle profondeur les engrains étaient-ils enfouis ? Et l'absence d'effet des engrais phosphatés et potassiques ne s'explique-t-elle pas par la lenteur de leur descente jusqu'au niveau des racines et le pouvoir de rétention élevé du sol dans lequel vous avez opéré, comme dans le cas de la vigne de Man-guiou qui a été évoquée ici précédemment ?*

2) *Combien de feuilles prélevez-vous par arbre et combien d'arbres comporte chaque parcelle ?*

R. — Les engrais étaient enfouis entre 10 et 15 cm par passage d'un cover-crop. Je ne pense pas que seul le pouvoir de rétention du sol soit ici en cause, tout d'abord parce que le système radiculaire des orangers est peu profond, également parce que l'absence de fumure phosphorique et potassique s'est fait sentir sur le rendement. Seules les augmentations de doses n'ont aucun effet visible.

Il est prélevé 60 feuilles environ par arbre. Chaque parcelle ne comporte qu'un seul arbre mais l'essai comprend 4 répétitions de chaque traitement.

Dr. BEYERS. — *The lack of a proportional increase if leaf P with P fertilization reported in the course of this paper resembles the results of a grapevine fertilizer experiment at Stellenbosch in which leaf P was not increased in spite of large increases in yield indicating suboptimal level of soil PO_4 , but fair increases in petiole P and bunch stalk P were observed and particularly the P content of the roots was markedly increased.*

R. — Aucune autre analyse que celle des feuilles n'ayant été effectuée, il n'est pas possible de dire si d'autres parties de la plante marquaient un enrichissement en phosphore.

Influence du mode d'application des engrais sur leur efficacité en culture fruitière

par J. LIWERANT

Station agronomique de Toulouse, France

Nous nous proposons d'examiner le problème de la fertilisation des cultures arbustives sous un aspect particulier, notamment celui du mode d'application des engrais minéraux.

La technique de fumure la plus généralement employée consiste à épandre les engrais sur la surface du sol et à les incorporer dans la couche superficielle (10 à 15 cm d'épaisseur) par des façons culturales. De ce que nous savons sur l'évolution et les mouvements des matières fertilisantes dans le sol, il résulte que si les engrais azotés peuvent sans inconvénient être apportés par la méthode traditionnelle, il n'en est pas de même lorsqu'il s'agit d'engrais phosphatés et potassiques. L'acide phosphorique, fortement retenu par le pouvoir absorbant du sol, reste fixé dans la couche à laquelle il est incorporé. La migration de la potasse est extrêmement lente et il faut de longues années avant qu'elle atteigne le sous-sol immédiat dans lequel se développe la majeure partie de l'appareil radiculaire.

CONSÉQUENCES DE L'APPLICATION SUPERFICIELLE DE LA FUMURE PHOSPHO-POTASSIQUE

Les expériences et les observations faites en France comme à l'étranger, sur des cultures en pleine terre, ont abouti à des conclusions concordantes qui font ressortir l'importance de cette question. Nous ne citerons qu'une expérience effectuée dans la région toulousaine (1) sur une culture de pêchers en sol d'alluvions silico-argileux, à réaction neutre. L'analyse chimique des échantillons de terre prélevés au moment de la plantation a donné les résultats suivants :

P_2O_5 assimilable : 0.14 p. mille ; K_2O échangeable : 0.20 p. mille.

Les différentes parcelles de ce verger recevaient annuellement soit une fumure complète NPK, soit une fumure carencée en un élément : NP, NK, PK, à la dose de 100 kg d'azote, 125 kg de P_2O_5 et 150 kg de K_2O à l'hectare.

Entre 1935 et 1950, on a effectué treize applications d'engrais qui ont apporté au total à l'hectare :

1.300 kg d'azote du sulfate d'amm.
1.625 kg de P_2O_5 du superphosphate
et 1.950 kg de K_2O du sulfate

Ces engrais étaient épandus à la fin de l'hiver et enfouis par des façons superficielles à 10 cm de profondeur.

Un an après le dernier apport d'engrais, des échantillons de terre furent prélevés sur les différentes parcelles, par tranches successives de 10 cm jusqu'à une profondeur de 40 cm.

Le tableau I donne le résultat de l'analyse de ces échantillons :

TABLEAU I
Pour 1 000 de terre sèche

Profondeur des prélevements cm.	Témoin (sans engrais)	Fumure			
		N. P. K.	N. P.	N. K.	P. K.
P_2O_5 assimilable (acide citrique)					
0 à 10	0,22	0,60	0,58	0,15	0,57
10 à 20	0,14	0,13	0,11	0,09	0,16
20 à 30	0,11	0,11	0,14	0,12	0,12
30 à 40	0,11	0,13	0,15	0,15	0,13
K_2O échangeable					
0 à 10	0,29	0,67	0,29	0,66	0,85
10 à 20	0,16	0,57	0,19	0,71	0,62
20 à 30	0,15	0,38	0,17	0,48	0,23
30 à 40	0,15	0,32	0,17	0,32	0,19

On constate que les apports répétés de superphosphate n'ont enrichi que la couche superficielle du sol sur 10 cm d'épaisseur. La teneur en P_2O_5 de la couche au-dessous de 10 cm reste, après 15 ans de fumure intensive, sensiblement la même que celle des parcelles privées de fumure phosphatée (T, NK).

Quant à la potasse, l'enrichissement qui est maximum dans la zone superficielle diminue progressivement avec la profondeur. Dans le sol expérimenté et sous les conditions du climat toulousain, on peut évaluer à 3-4 ans le temps nécessaire pour que la potasse apportée dans la couche superficielle du sol descende de 10 cm. La quasi immobilité de l'acide phosphorique et la lente migration de la potasse constituent un phénomène assez général qui se retrouve sensiblement le même en sols calcaires ou non, en culture sèche ou irriguée, sous les climats normand ou méditerranéen. Ceci résulte des observations faites par Ch. Brioux (2) sur des pommiers sous herbe en Normandie, par G. Drouineau (3) sur des rosiers dans la région d'Antibes, par L. Depardon et P. Buron (4) sur des pommiers dans la région de Blois.

La faible efficacité de la fumure phospho-potassique appliquée superficie-

ciellement a découragé bon nombre d'arboriculteurs, principalement dans les exploitations familiales ; ils ne l'appliquent plus que de façon sporadique et sans distinction entre les éléments nutritifs. Par contre, dans les grandes exploitations fruitières, le souci de s'assurer régulièrement des rendements élevés conduit souvent à l'emploi de doses de plus en plus importantes d'engrais, dépassant de beaucoup les besoins des cultures, sans tenir compte des réserves du sol.

Nous citerons, comme exemple, un cas relevé dernièrement dans une des exploitations fruitières les plus importantes de la vallée du Tarn. Les sols sont constitués par des alluvions profondes, non caillouteuses et légèrement calcaires (2 à 4 p. cent de CO_3Ca). On y emploie régulièrement des doses importantes d'engrais complets qui habituellement étaient enfouis à 10-15 cm de profondeur. Mais, depuis quelques années le sol n'est plus travaillé ; on le laisse s'enherber et l'herbe fauchée est laissée sur place. Ces plantations sont régulièrement irriguées, en moyenne, 3.600 m³ d'eau en 4 irrigations.

Nous avons examiné deux parcelles : l'une de pommiers plantés en 1942, l'autre de poiriers plantés en 1932. L'analyse des échantillons de terre prélevés de 10 cm en 10 cm jusqu'à une profondeur de 50 cm a donné les résultats suivants :

TABLEAU II
Pour 1 000 de terre

Profondeur des prélevements cm.	Pommiers, plantation 1942		Poiriers, plantation 1932	
	P_2O_5	K_2O	P_2O_5	K_2O
0 à 10	1,11	0,59	2,72	1,11
10 à 20	0,68	0,33	0,56	1,05
20 à 30	0,59	0,13	0,31	0,56
30 à 40	0,57	0,13	0,22	0,34
40 à 50	0,46	0,13	0,15	0,24

On constate, dans la parcelle de pommiers, qu'après 14 ans de fumure intensive, l'acide phosphorique reste localisé dans les 10 cm superficiels du sol, tandis que la potasse a pénétré jusqu'à 20 cm de profondeur. Au-dessous de ce niveau, l'effet de la fumure n'est plus perceptible.

Dans la parcelle de poiriers, après 24 ans de fumure, la migration en profondeur de l'acide phosphorique et de la potasse est à peine plus sensible. On constate seulement une accumulation beaucoup plus importante de ces deux éléments dans la couche superficielle du sol. L'irrigation n'a pas eu d'effet sensible sur leur pénétration dans le sol.

Il convient de remarquer que la parcelle de pommiers, enrichie par les fortes fumures phosphatées des cultures antérieures (cultures maraîchères), contenait au moment de la plantation plus de 0,50 p. mille de P_2O_5 , teneur au-dessus de laquelle on considère que les cultures ne réagissent plus aux apports d'engrais phosphatés. On aurait donc pu réduire ou supprimer l'apport de phosphates pendant un certain nombre d'années.

L'accumulation très importante de matières fertilisantes, en particulier l'acide phosphorique, dans la couche superficielle du sol (1,11 et 2,72 de P_2O_5 p. mille), résultant des apports excessifs et surtout de l'immobilité de ces éléments, constitue une énorme perte au point de vue économique. Elle n'est pas sans inconvénient au point de vue agronomique, car l'excès d'acide phosphorique et de potasse risque de provoquer une carence relative en d'autres éléments et en particulier en Mg et en Mn.

TECHNIQUES PROPOSÉES POUR L'APPLICATION PROFONDE DE LA FUMURE

L'amélioration de l'efficacité de la fumure phospho-potassique appliquée aux cultures arbustives préoccupe depuis longtemps les praticiens et les expérimentateurs. De nombreux procédés ont été proposés et essayés ; tous ont pour objectif d'amener les engrais à proximité des racines. Voici les principaux :

— La méthode la plus anciennement préconisée est probablement celle de la fumure en couronne ; elle consiste à creuser autour de l'arbre, à l'aplomb des extrémités des branches, une tranchée dans laquelle on dépose les matières fertilisantes. On reproche à cette méthode de sectionner de très nombreuses racines tout autour de l'arbre et d'exiger beaucoup de main-d'œuvre.

— La fumure en sillons indiquée par E. Vinet pour la vigne, mais qui est également applicable aux arbres, consiste à ouvrir à la charrue un sillon dans lequel on enfouit les engrais. On fume chaque année un interligne sur deux. Le nombre des racines sectionnées est sensiblement réduit, mais on considère que la profondeur des sillons, qui est généralement inférieure à 30 cm, est dans beaucoup de cas insuffisante.

— La fumure au pal consiste à forer autour de l'arbre un certain nombre de trous, profonds de 40 à 50 cm, dans lesquels on introduit l'engrais. Le préjudice causé aux racines est insignifiant, mais la dépense en main-d'œuvre est importante.

— Enfin, le pal injecteur permet d'introduire sous pression, au niveau des racines, des solutions nutritives concentrées dont l'effet serait plus rapide que celui des engrais solides. Ce procédé exige l'emploi d'engrais spéciaux coûteux.

Divers essais entrepris à l'aide de ces techniques ont prouvé la nette supériorité de l'application profonde des engrais par rapport à la fumure superficielle.

E. Vinet (5) sur vigne, en appliquant la fumure en sillons, a obtenu, dès la première année, une amélioration remarquable de la végétation et une augmentation appréciable de la récolte.

Par ce même procédé appliqué à une jeune vigne (6), nous avons obtenu, dès la première récolte, des excédents appréciables de rendement dus à la

fumure phosphatée dont les effets sont généralement considérés comme très lents à se manifester.

G. Drouineau et P. Nageotte (7) ont comparé, sur pêchers, l'effet d'une fumure complète apportée d'une part superficiellement, et d'autre part dans des trous profonds de 40 à 50 cm. Le contrôle effectué par le diagnostic ligneux a montré que la fumure profonde a nettement augmenté, dans l'année même de son application, la nutrition phsophatée et potassique du pêcher ; par contre, la fumure superficielle n'a pas eu d'effet sensible.

En U. R. S. S., les travaux de S. S. Roubine (8), de N. D. Spivakovsky, et d'autres ont démontré qu'en culture fruitière, l'application de la fumure minérale complète dans des trous profonds de 40 à 50 cm en augmentait l'efficacité de 1,5 à 2 fois, par comparaison avec la fumure superficielle.

A part, peut-être, la fumure en sillons de la vigne qui est assez fréquemment appliquée, les différentes techniques proposées n'ont pas connu un grand succès auprès des arboriculteurs. Les avantages de la fumure profonde sont tellement évidents qu'on peut se demander pourquoi elle n'a pas connu plus de faveur auprès des intéressés.

Certes, nombreux sont les arboriculteurs qui ignorent encore l'importance du problème, et même parmi ceux qui sont convaincus de la supériorité de la fumure profonde, beaucoup hésitent à adopter des techniques qui exigent une nombreuse main-d'œuvre.

Il paraît donc probable, qu'aussi longtemps que l'arboriculture ne disposera pas de machines permettant d'effectuer ce travail mécaniquement, l'application profonde des engrais ne fera pas de progrès sensible.

MÉCANISATION DE L'APPLICATION PROFONDE DES ENGRAIS

Une machine pour l'application profonde des engrais a été construite, à titre expérimental, par une Société Industrielle de Toulouse (*). Cette « enfouisseuse d'engrais » est constituée par une sous-soleuse, sur le bâti de laquelle sont installés une trémie pour les engrais et un système de distribution à débit réglable à la dose voulue. La profondeur d'enfouissement est également réglable, entre 10 et 60 cm, à l'aide d'une vis de terrage. L'engrais est épandu dans le sillage du soc sous-soleur en bande large de 3-4 cm.

Un certain nombre d'expériences ont été établies, à l'aide de l'enfouisseuse, sur vignes et sur arbres fruitiers. Nous examinerons les résultats obtenus sur une jeune plantation de pruniers d'Ente (9,10).

Ces pruniers plantés en octobre 1951, à raison de 200 arbres à l'hectare, ont reçu, un mois après leur mise en place, une fumure phospho-potassique incorporée à l'aide de l'enfouisseuse à 45 cm de profondeur, de part et d'autre de chaque rangée d'arbres, à 1 mètre environ des troncs.

(*) Brevet 951.823 du 18 avril 1949.

Doses à l'hectare : 100 kg de P_2O_5 de superphosphate, 250 kg de K_2O du sulfate. La fumure azotée est apportée en couverture autour de chaque arbre à la fin de l'hiver, à raison de 50 gr d'azote de l'ammonnitrate par année d'âge de l'arbre.

Sol : alluvions anciennes silico-argileuses ne contenant que des traces de calcaire, pauvres en K_2O (0.11 p. mille) et moyennement pourvues en P_2O_5 (0.20 p. mille).

L'expérience comporte 4 traitements : NPK, NP, NK, N.

Au cours de la troisième année après la plantation (1954), on a observé que les arbres n'ayant pas reçu de fumure potassique (N et NP) étaient nettement moins bien développés que ceux des parcelles NPK et NK. En outre leurs feuilles portaient des symptômes de carence en potasse.

L'analyse des feuilles prélevées le 1^{er} septembre 1954 ont confirmé les observations faites sur le terrain.

TABLEAU III
Prunier d'Ente
Feuilles, pour cent de matière sèche

Fumure	Cendres		Azote	P_2O_5	K_2O
	Totales	Solubles eau p. 100 des totales			
N	11,0	14,9	2,09	0,54	0,71
NP	12,3	16,3	2,13	0,53	0,92
NK	14,8	35,4	2,26	0,53	2,57
NPK	15,9	33,1	2,22	0,53	2,70

Dans ce sol, à l'origine pauvre en K_2O , les arbres n'ayant pas reçu au moment de la plantation d'apport de cet élément sont fortement carencés ($K_2O < 1$ p. cent dans les feuilles). Par contre, dans les parcelles ayant reçu une fumure potassique profonde, la teneur des feuilles en K_2O est, en moyenne de 2,5 p. cent, teneur considérée comme normale par la plupart des auteurs.

L'amélioration de l'équilibre nutritif a favorisé le développement végétatif des arbres, ce qui s'est manifesté par un meilleur accroissement des troncs et des branches.

TABLEAU IV
Prunier d'Ente : circonférence des troncs

Fumure	Circonférence en cm.	Indices
N	13,2 ± 0,20	100,0
NP	14,5 ± 0,23	109,8
NK	16,9 ± 0,28	128,0
NPK	17,0 ± 0,26	128,8

Ces chiffres montrent que la fumure potassique a augmenté la circonference des troncs de 28 p. cent ; elle a favorisé l'accroissement des branches dans la même proportion. L'effet de la fumure phosphatée a été bien moins marqué, au moins pendant les deux premières années après la plantation, ce qui peut s'expliquer par la teneur relativement satisfaisante de ce sol en P_2O_5 assimilable (0.20 p. mille).

Nos expériences antérieures sur la fertilisation des cultures fruitières nous inclinent à admettre que l'efficacité de la fumure potassique ne se serait pas manifestée avec tant de rapidité et d'efficacité si l'engrais avait été apporté dans la couche superficielle du sol.

Il a alors paru intéressant de rechercher si l'alimentation potassique des arbres carencés pouvait être rapidement améliorée. Dans ce but, on a incorporé en novembre 1954, dans la parcelle N, ne recevant que de l'azote, 250 kg de K_2O à l'hectare, à l'aide de l'enfouisseuse.

L'analyse des feuilles prélevées le 2 septembre 1955 a donné les résultats suivants :

TABLEAU V
Pour cent de matière sèche

Fumure	K_2O
$N + K$	2,00
NP	1,04
NK	2,86
NPK	3,00

L'enfouissement de la fumure de redressement à 45 cm de profondeur a nettement amélioré la nutrition potassique l'année même de son application. Sur les parcelles précédemment carencées, la teneur des feuilles en K_2O a doublé par rapport à celle des feuilles de la parcelle NP n'ayant pas reçu de fumure de redressement (2,00 au lieu de 1,04 p. 100). Il paraît probable que dans cette rapide amélioration de la nutrition potassique, le rôle déterminant puisse être attribué plus au mode d'incorporation de l'engrais qu'à l'importance de l'apport.

Des résultats encore plus significatifs ont été obtenus à l'Institut Agricole d'Ouman (U. R. S. S.) au cours d'un essai comparatif sur les différents modes d'incorporation des engrains (II). Les engrains étaient apportés soit superficiellement et enfouis par un labour, soit dans des trous de 50 cm de profondeur forés au nombre de 32 autour de chaque arbre, soit enfin à l'aide d'une machine basée sur le même principe que celle employée dans nos essais et désignée sous le nom de « fertiliseur U. S.-I ». Les essais ont été effectués dans un verger âgé de 32 ans ; une fumure complète fut apportée à raison de 120 unités NPK à l'hectare.

Pour évaluer l'effet de l'ameublissement du sol résultant de l'utilisation du fertiliseur, on a établi, en plus des parcelles témoins sans engrais recevant les façons habituelles, des parcelles témoins ameublées par des

passages du fertiliseur à vide ; ces passages étaient effectués à la même profondeur à laquelle on incorporait les engrais dans les parcelles NPK (30 ou 50 cm).

Le tableau VI donne les résultats obtenus sur pommiers en 1953, c'est-à-dire au cours de la première année de l'expérience :

TABLEAU VI

Modes d'incorporation de la fumure	Accroissement végétatif Indices		Rendement moyen Fruits par arbre	
	Branches	Troncs	kg	Indices
Témoin, façons habituelles	100	100	136	100
» passages du fertiliseur à 30 cm de prof.	105	117	144	106
» passages du fertiliseur à 50 cm de prof.	132	125	148	109
NPK dans la couche superficielle du sol	117	120	143	104
NPK dans les trous de 50 cm de profondeur . . .	121	127	163	119
NPK au fertiliseur à 30 cm de profondeur	137	142	193	142
NPK au fertiliseur à 50 cm de profondeur	169	160	255	187

Ces résultats mettent en évidence la très grande supériorité de la fumure au fertiliseur par rapport aux autres modes d'incorporation des engrais.

Les 120 unités NPK apportées dans la couche superficielle du sol n'ont pas eu d'effet significatif sur le rendement (excédent 4%). L'effet est nettement amélioré par l'apport des engrais dans des trous profonds de 50 cm (excédent 19%). Mais le meilleur accroissement végétatif de l'arbre et le rendement le plus élevé en fruits ont été obtenus par l'incorporation des engrais à l'aide du fertiliseur. La profondeur de l'enfouissement a une influence prépondérante sur l'efficacité de la fumure ; on constate, en effet, que l'excédent de récolte obtenu par l'incorporation des engrais à 50 cm de profondeur est deux fois plus élevé que celui résultant de l'incorporation à 30 cm (87 % au lieu de 42%).

Des résultats analogues ont été obtenus dans des essais effectués sur poiriers.

Par rapport aux méthodes traditionnelles, cette technique d'incorporation de la fumure phospho-potassique présente des avantages incontestables :

— L'incorporation des engrais au niveau où se situe la plus grande partie du système radiculaire met les éléments nutritifs à la portée des racines profondes, susceptibles de les utiliser ; les racines superficielles étant le plus souvent détruites par les travaux d'entretien du sol.

— L'équilibre entre les éléments nutritifs contactés par les racines est sensiblement celui réalisé dans la fumure apportée. Il n'en est pas ainsi lorsqu'on applique les engrais dans la couche superficielle du sol ; la vitesse de migration en profondeur des divers éléments étant différente, ceux-ci

parviennent aux racines dans des proportions différentes de celles qui existaient dans la fumure.

— La localisation des engrais en bandes continues crée des zones de saturation autour desquelles la concentration des solutions du sol en P_2O_5 et K_2O est maintenue constamment élevée. Ces zones sont rapidement envahies par des innombrables radicelles et, de ce fait, le taux d'utilisation des engrais augmente dans des proportions souvent importantes.

— Les passages de la machine constituent dans le sol des zones d'ameublement profond, dans lesquelles la circulation de l'eau et de l'air se trouve facilitée et l'activité des racines intensifiée.

— Dans ces zones, les variations du taux d'humidité sont nettement moins accusées que dans la couche superficielle du sol subissant directement l'action des pluies et de la sécheresse, et de ce fait la marche de l'alimentation minérale des arbres est plus régulière.

— La tendance des racines à se diriger vers l'engrais étant très marquée, la localisation de la fumure à une profondeur et à une distance du tronc déterminées, offre la possibilité d'influencer le développement du système radiculaire vers la forme la mieux appropriée au mode de culture et aux conditions du milieu (sol et climat).

— Enfin l'emploi du fertiliseur abaisse sensiblement les frais d'épandage des engrais ; la capacité de travail de la machine est de 6 à 10 hectares par jour, suivant l'espacement des arbres.

On pourrait reprocher à cette technique de sectionner une partie des racines. Il convient de remarquer que les espacements le plus généralement pratiqués dans les vergers de rapport varient, suivant l'espèce fruitière, entre 5 et 10 mètres. L'incorporation des engrais dans les vergers adultes s'effectuant au milieu des interlignes, les racines sont sectionnées à 2 m 50 au moins du tronc ; à cette distance on ne trouve que des racines secondaires de faible diamètre. Les observations faites par différents expérimentateurs ont permis de constater que le sectionnement d'une partie des racines périphériques, éloignées du tronc, ne présente aucun inconvénient. En particulier, on a observé sur pommiers (11) que le coutre bien affûté d'un fertiliseur sectionne les racines nettement, sans les déchiquer, et qu'au niveau du sectionnement repoussent rapidement d'abondantes touffes de radicelles.

Dans un de nos essais de fertilisation sur vigne à l'aide de la sous-soleuse enfouisseuse d'engrais, la mise à jour de l'appareil radiculaire d'un certain nombre de céps a permis de constater que des racines, même d'assez gros diamètre, repoussent avec vigueur comme le montre la figure 2. Les racines sectionnées régénèrent très activement du fait qu'elles se trouvent dans une zone ameublie par le passage de la machine et enrichie par la fumure (Fig. 1 et 2).

Il est cependant préférable d'alterner d'une année à l'autre les interlignes recevant la fumure phospho-potassique, pour permettre aux racines de se reconstituer et de profiter pendant quelques années des réserves nutritives apportées.

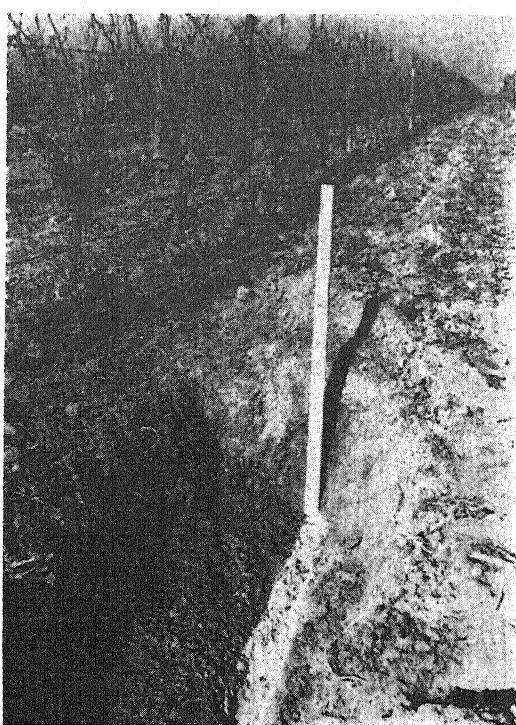


FIG. 1. — Engrais localisés à 40 cm de profondeur dans une vigne.

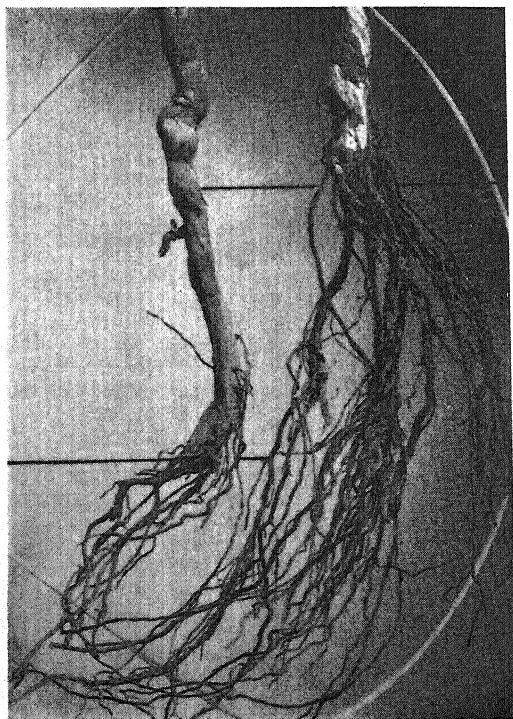


FIG. 2. — Régénération des racines de vigne sectionnées par le fertiliseur.

Dans les vergers plantés en carré ou en rectangle, on peut fumer chaque année sur un des quatre côtés de l'arbre ; on ne revient du même côté que tous les quatre ans. Dans les vignes et dans certaines autres cultures arbustives, dans lesquelles on ne peut faire passer le fertiliseur que dans le sens des rangées, on apportera dans un interligne sur deux une dose d'engrais suffisante pour 2 ans. En faisant alterner tous les 2 ans les interlignes recevant la fumure, on obtient un cycle de rotation de 4 ans. Cette manière de procéder ne présente pas d'inconvénients : on sait que l'effet de la fumure phospho-potassique est la même, si, au lieu d'apporter chaque année une dose déterminée d'engrais, on apporte une dose double tous les 2 ans.

Si dans les vergers adultes, dans lesquels les racines occupent généralement toute la surface, il convient d'incorporer la fumure phospho-potassique au milieu des interlignes, il n'en est pas de même lorsqu'il s'agit d'un verger jeune qui commence à produire. Il est utile dans ce cas, avant d'effectuer une application profonde des engrais, de procéder à un examen du système radiculaire des arbres. Cette exploration est particulièrement importante, lorsque la fumure profonde doit être appliquée dans un verger pour la première fois. On peut opérer de la manière suivante :

En partant du milieu de l'interligne et suivant une ligne perpendiculaire à celui-ci, on creuse une tranchée de 60 cm de largeur et de 50 à 60 cm de profondeur, dans la direction du tronc de l'arbre. On arrête de creuser lorsqu'on commence à rencontrer les radicelles. On rend alors la paroi de la tranchée bien verticale à l'aide d'une bêche tranchante, et sur cette paroi (parallèle à l'interligne) on détermine le diamètre approximatif et le nombre de radicelles dans les couches successives du sol. Pour faciliter les observations, on peut dégager à l'aide d'un outil pointu, les extrémités des racines sectionnées sur la paroi verticale. On prolonge ensuite la tranchée de 50 ou de 75 cm, suivant la densité des racines rencontrées, et après avoir rendu la paroi verticale, on effectue les mêmes observations qu'on note soigneusement. On prolonge la tranchée encore une ou deux fois, jusqu'à ce que l'on rencontre les racines principales qu'il faut éviter de sectionner. Une fois déterminé l'emplacement où la densité des racines est la plus élevée, on peut localiser les engrais à la portée des racines et éviter d'en sectionner de trop nombreuses.

Il reste encore à envisager la question de la fumure de fond. L'objectif essentiel de cette fumure est de constituer avant la plantation une réserve pour les racines profondes, qu'il est difficile d'alimenter en P_2O_5 et K_2O , une fois les arbres en place. On conseille d'enfouir avec le labour de défoncement des doses d'engrais variant suivant le sol, de 250 à 500 unités pour chacun de ces deux éléments.

Cette pratique est-elle très rationnelle ? D'une part, les engrais épargnés dans la grande masse de terre remuée au cours du défoncement, sont fixés par le pouvoir absorbant du sol d'autant plus énergiquement, que le sol est plus pauvre ; ceci, au détriment de la nutrition des arbres. D'autre part, la fumure de fond exige des investissements assez importants qui ne

deviennent productifs qu'à la longue, au fur et à mesure du développement du système radiculaire des jeunes arbres. Ceux-ci n'occuperont pleinement le terrain fumé qu'après de nombreuses années. Dans ces conditions, on peut se demander si le taux d'utilisation de la fumure de fond est suffisamment élevé pour que l'opération soit rentable.

D'après les observations faites sur les pruniers d'Ente déjà mentionnés (9), il apparaît que la fumure de fond peut avantageusement être remplacée par un apport, après plantation, d'une fumure phospho-potassique localisée à l'aide d'un fertiliseur, à proximité des racines des jeunes plantes. Dans ce sol pauvre en K_2O , les jeunes arbres témoins sont fortement carents en cet élément (K_2O inférieur à 1 % dans les feuilles). Par contre, les arbres ayant reçu, après la plantation, une fumure potassique localisée près des racines, à 45 cm de profondeur, sont normalement alimentés en potasse et vigoureux (K_2O supérieur ou égal à 2,5 % dans les feuilles).

Le premier apport d'engrais, effectué immédiatement après la plantation, a été localisé aussi près de la ligne d'arbres, qu'il est possible de le faire avec un tracteur : à 1 m environ. Le deuxième apport a été effectué 3 ans plus tard, à 1,75 m des troncs des arbres. En continuant à apporter la fumure phospho-potassique tous les deux ans par localisation à une distance de plus en plus grande de la ligne d'arbres, on ne fumera le milieu des interlignes que dans la 10^e ou 15^e année, suivant que les apports successifs auront été espacés de 50 ou 75 cm (l'écartement entre les rangées d'arbres est de 8 m). Alors, tout le sol aura reçu une fumure de fond localisée, que les racines par leurs développements successifs utiliseront plus complètement que lorsque la fumure de fond est apportée uniformément avant la plantation. Ce procédé présente, en outre, l'avantage de favoriser l'enracinement profond des arbres qui auraient tendance à développer leurs racines à faible profondeur.

ÉPOQUE D'APPLICATION DE LA FUMURE

L'incorporation des engrains à l'aide d'un fertiliseur doit s'effectuer en dehors de la période de végétation active, c'est-à-dire en automne ou en hiver. Des recherches récentes (12 et 13) ont mis en évidence que si les parties aériennes de l'arbre présentent une seule période de croissance active : avril-juillet, le système radiculaire, lui, en présente deux : mai-juillet et octobre-novembre. On a également démontré qu'en automne, même après la chute des feuilles, les racines continuent à absorber et à transformer les matières minérales en composés organiques qui s'accumulent dans l'appareil radiculaire. Le départ de la végétation au printemps, ainsi que la floraison, s'effectuent aux dépens de ces matières nutritives. Pour favoriser la croissance automnale des racines et la constitution des réserves si nécessaires au départ de la végétation, il convient d'apporter la fumure le plus tôt possible, immédiatement après l'enlèvement des fruits.

RÉSUMÉ

Le but de cet exposé est d'attirer l'attention sur l'important problème de technique agricole que pose la fumure phospho-potassique des cultures arbustives. Ce problème n'a pas trouvé jusqu'à présent de solution satisfaisante. La faible efficacité des engrais appliqués par la méthode traditionnelle a conduit les uns à négliger la fumure, les autres à utiliser des doses pléthoriques qui entraînent des dépenses inutiles, et risquent de provoquer, ou d'aggraver des déséquilibres existants.

Les différentes techniques qui ont été proposées pour améliorer l'efficacité de la fumure phospho-potassique ont souvent donné, lors des expériences, des résultats encourageants : l'application plus profonde des engrais augmentait leur efficacité d'une manière très appréciable. Cependant, elles n'ont pas connu une large diffusion, car l'abondante main-d'œuvre exigée, aussi bien par la distribution des engrais que par leur enfouissement, est jugée incompatible avec les conditions actuelles de production.

Les machines enfouisseuses d'engrais récemment expérimentées présentent des avantages énormes par rapport à d'autre techniques. La distribution des engrais est automatique et réglable à la dose de 200 à 1.200 kg à l'hectare, la profondeur d'enfouissement est également réglable, la capacité de travail est de 6 à 10 hectares par jour. Les essais réalisés à l'aide de ces machines ont permis de constater une augmentation nette et rapide de l'efficacité de la fumure ainsi apportée, aussi bien sur le développement végétatif des arbres que sur leur rendement. En outre, ce mode d'incorporation des engrais a permis d'opérer, dans un minimum de temps, le redressement de la nutrition potassique des arbres fortement carencés en cet élément.

Il est évident que la profondeur d'enfouissement comporte un optimum variable avec l'espèce fruitière, le porte-greffe, la nature du sol, le climat, etc... d'où, nécessité de poursuivre l'étude expérimentale de ce problème dans des conditions pédo-climatiques diverses.

Mais, il ne paraît pas douteux que la mécanisation de l'incorporation profonde des engrais contribuera largement à rendre la fumure des cultures fruitières plus efficace et plus rationnelle.

LITTÉRATURE CITÉE

1. J. LIWERANT. Effets d'une application prolongée d'engrais minéraux sur les propriétés chimiques d'un sol d'alluvions sous vergers. Communication au Congrès International des engrais chimiques. Rome, oct. 1951.
2. Ch. BRIOUX. Répartition des éléments fertilisants en profondeur dans les vieux sols d'herbagès. Bull. Ass. Fr. Etude du sol, 1936, p. 294.
3. G. DROUINEAU. Observations sur la migration de la potasse et de l'acide phosphrique des engrais dans les sols de la région méridionale. C. R. Ac. Agr., 1938, p. 1007.
4. L. DEPARDON et P. BURON. An. Agr., 1950, p. 646.

5. E. VINET. Sur la fumure de la vigne et le rajeunissement de l'appareil radiculaire. C. R. Ac. Agr., 1938, p. 854.
6. J. LIWERANT. Action des engrains phosphatés sur la vigne. Ann. Agr., n° 6, 1953.
7. G. DROUINEAU et P. NAGEOTTE. Influence du mode d'application d'une fumure complète sur la nutrition des arbres fruitiers. Rech. sur la fertilisation, 1940, p. 50.
8. S. S. ROUBINE. La fumure des cultures fruitières (en russe). Selchozguiz, Moscou, 1949.
9. J. LIWERANT. Importance de l'application profonde de la fumure phospho-potassique ; influence sur la croissance de jeunes pruniers d'Ents. Ann. Agr., 1955, p. 880.
10. J. LIWERANT. Redressement rapide d'une carence potassique du prunier d'Ents par application profonde des engrais (en publication aux Ann. Agr.).
11. G. I. FISHTCHENKO et I. F. INDENKO. Machine pour l'application profonde des engrais dans les vergers (en russe) Sad i ogorod. Moscou, n° 8, 1954.
12. A. K. PRYMAK. La fumure des cultures fruitières (en russe). Selchozguiz. Moscou.
13. V. A. KOLESNIKOV. Du nouveau dans l'étude du système radiculaire des arbres fruitiers. Sad i ogorod. Moscou, 1955, n° 5, p. 44.

DISCUSSION

M. LEVY. — Pouvez-vous nous donner quelques précisions sur la façon dont vous prélevez vos échantillons de feuilles (nombre, niveau, époque, etc...).

R. — Sur le pêcher, nous prélevons les deux premières feuilles situées au-dessus de l'empâtement des pousses de l'année. Les prélèvements ont été effectués à des intervalles réguliers soit de 15, soit de 30 jours.

Prof. GENEVOIS. — Les sols ayant servi aux expériences décrites, à 12 % d'argile, me paraissent peu favorables aux cultures arbustives, et mieux adaptés aux prairies ou céréales. Les sables de la Loire par exemple, très perméables, reçoivent aujourd'hui souvent des vergers.

R. — Les sols entièrement sableux ne conviennent pas à la culture des arbres fruitiers. Les sols en question, à 12 % d'argile, sont des sols légers et non des sols fortement argileux.

M. MICHAUX. — Puissance de la sous-soleuse pour faire 10 ha/jour ?

R. — La sous-soleuse traînée que nous avons utilisée, d'un poids de 400 kg environ, exigeait une traction de 25 à 30 cv. Le fertiliseur de la Station de Ouman est une machine portée s'adaptant aux tracteurs de 15 à 20 cv.

Über das Aneignungsvermögen von Apfelbäumen für schwerlösliche Phosphate

Dr. G. REINKEN

Institut für Obstbau der Universität, Bonn, Allemagne.

Zahlreiche Feldversuche bei Obstbäumen, die in verschiedenen Ländern durchgeführt wurden, hatten trotz langjähriger Versuchsdauer nur eine geringe oder keine Wirkung zu verzeichnen, obwohl zum Teil sehr hohe Phosphatgaben verabfolgt worden waren. Scott (1939), Chandler (1947), Veerhoff (1947) und Wallace (1951) beobachteten, dass Obstbäume dort noch gut gediehen, wo Gräser, Getreide und Kleearten z. T. als Unterkultur angebaut — Phosphormangelsymptome zeigten. Auf Grund dieser Wahrnehmungen vermuteten Chandler (1947), Hilkembäumer (1952, 1953) und Boynton (1954), dass die Wurzeln der Obstgehölze ein besonderes Aufschliessungsvermögen für schwerlösliche Phosphate haben, die im Boden vorhanden sind, wie es Bohnen, Buchweizen, Erbsen, Lupinen und Senf — im Gegensatz zu Gramineen — zu eignen ist.

Es trat sogar auf Grund vieler wirkungsloser Düngungsversuche in England und Australien die Vermutung auf, dass Obstgehölze keine zusätzlichen Phosphatgaben brauchen. Hierdurch würden natürlich erhebliche wirtschaftliche Vorteile hinsichtlich Vereinfachung und Verbilligung der Düngung eintreten, zumal die Einbringung der Phosphatdünger in die Wurzelzone der Obstgehölze mit Schwierigkeiten verbunden ist. Bei dieser Überlegung blieb jedoch die Tatsache unbeachtet, dass bei obengenannten Düngungsversuchen fast überall ein erheblicher Bodenvorrat an Phosphorsäure vorhanden war, und zum anderen wurde lediglich die Pflanze gesehen, und der Faktor Boden ausser Acht gelassen. Hilkembäumer (1952) betont, dass Obstgehölze sehr wohl Phosphorsäure benötigen und dass eine Unterlassung einer Phosphatdüngung einem Entnahmeanbau gleichkommt. Zur Erklärung des geringen Phosphatbedarfs bei Obstbäumen sei noch in Erwägung zu ziehen, ob die Pflanze ihre Lebensfunktionen nicht mit einer geringen Menge Phosphor aufrechterhalten könne.

DURCHFÜHRUNG DER VERSUCHE

Da bei Feldversuchen mit Obstgehölzen zur Klärung von Problemen der Phosphorsäuredüngung eine sehr lange Versuchsdauer notwendig ist und

im natürlichen Boden ständig nur schwer kontrollierbare Umsetzungsvorgänge bei Phosphaten stattfinden, die u. a. von den physikalischen und chemischen Eigenschaften des Bodens abhängen, wurde zur Versuchsdurchführung der *Gefässversuch* gewählt. Auch sollte jeder Pflanze ein genau bestimmtes Nährmedium geboten werden. Im Freiland wurden 651 fassende Harttongefäße mit Glasur ganz in den Boden eingelassen. Sie waren nach Art der «Volk'schen Gefäße» mit Lüftungskanälen versehen, die bis 20-50 cm Tiefe einen Luftzutritt durch die Gefäßwand ermöglichten. Das Sickerwasser gelangt durch einen Polyäthylenschlauch in ein besonderes Sickergefäß. Es wurde keinerlei Metall verwendet. Um Verunreinigungen des Gefäßinhaltens durch Vögel und damit Versuchsfehler zu vermeiden, wurden alle Gefäße mit oben dicht abschliessenden, seitlich jedoch Luft durchlassenden Holzdeckeln versehen.

Das Substrat sollte die Forderung erfüllen, bei grösster Nährstoffarmut möglichst optimale Bedingungen für das Wachstum der Bäume zu bieten. Da podsolierte Böden bei Armut an Kernnährstoffen meist einen hohen Gehalt besonders an Eisen und Mangan haben, wurde auf den Vorteil, den diese Böden hinsichtlich des natürlichen Tonhumuskomplexes haben, verzichtet und ein Quarzsand-Weisstorf-Gemisch von 9:1 mit Zugabe von 0,7 Teilen Kalziumkarbonat folgender Eigenschaften gewählt:

Porenvolumen	64	%
Wasserkapazität (nach v. Nitzsch)	43	%
Kalkgehalt (CaO)	6,6	%
pH (n/10 KCl)	6,5	

Der verwendete Quarzsand hatte vorwiegend Korngrössen von 0,2-0,6 mm und war mit 99,32 % SiO_2 extrem nährstoffarm. Durch die Zugabe des ebenfalls nährstoffarmen Weisstorf erhielt das Sand-Torf-Gemisch einen ungefahrenen Humusgehalt von 2 % und ist mit einem Kohlenstoffgehalt von 3,5 % als humusarm bis humos anzusprechen. Der pH-Wert von 6,5 wurde festgelegt, da er im optimalen Reaktionsbereich der Obstgehölze liegt, vor allem aber, weil bei diesem pH-Wert nach Truog (1916), Gericke (1949), Fujiwara (1950) und Sauchelli (1951) die Löslichkeitsverhältnisse für Kernnährstoffe und Spurenelemente optimal sind.

Die Bäume — einjährige Veredlungen von Zuccalmaglio auf EM XI — wurden am 24. April 1953 aufgepflanzt. Das Giessen erfolgte viermal wöchentlich mit aqua dest., das aus fast nährstoffarmem Quellwasser hergestellt worden war. Das Sickerwasser wurde beim Giessen mitverwendet.

Gemäss der Fragestellung des Versuchs wurde folgender Düngungsplan aufgestellt:

ÜBERSICHT 1. — Dünungspian des Vegetationsversuchs

Art der Düngung	Formel der Verbindung	Zahl der Bäume
Monocalciumphosphat	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	9
Dicalciumphosphat	$\text{Ca}_2\text{HPO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	9
Tricalciumphosphat	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	9
Dimagnesiumphosphat	$\text{Mg}_2\text{HPO}_4 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$	8
Eisenphosphat	$\text{FePO}_4 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$	8
Aluminumphosphat	AlPO_4	8
Apatit	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH},\text{F})$	9
Nullreihe		9

Die Wahl von 9 bzwl. 8 Bäumen je Versuchseinheit erfolgte zur ausreichenden Sicherung der Versuchsergebnisse.

Die Düngermengen wurden unter Berücksichtigung bisher durchgeführter Gefäßversuche mit Obstbäumen und des zu erwartenden Wuchses wie folgt bemessen :

12 g N, 6 g P_2O_5 , 21 g K_2O , 12 g CaO , 3 g MgO , 0,33 g Fe, 0,37 g Mn, 0,30 g B, 0,43 g Zn und 0,47 g Cu. Im zweiten Vegetationsjahr wurden die Gaben in doppelter Höhe (MgO 5-fach) verabfolgt. Die verschiedenen Phosphatverbindungen mit ihrem unterschiedlichen Gehalt an Calcium, Magnesium und Eisen liessen es erforderlich erscheinen, in den einzelnen Versuchsreihen die Mengen insbesondere an Calciumcarbonat, aber auch an Magnesiumsulfat und Eisenchlorid zu variieren, um bei allen Bäumen eine grösstmögliche Einheitlichkeit bei der Mengenbemessung aller Nährstoffe zu erreichen. Es war also nur die Phosphatform verschieden. Auf diese Weise sollte es ermöglicht werden, die Beeinflussung der Nährstoffaufnahme an Hand der zu erwartenden, unterschiedlichen Phosphoraufnahme genau feststellen zu können.

Um Klarheit über das Aneignungsvermögen der Apfelbäume für schwerlösliche Phosphate zu erhalten, wurden weiterhin Versuche mit markierten Phosphaten (P^{32}) angelegt. Im Frühjahr 1954 gelangten 14 zweijährige Veredlungen von James Grieve auf EM IX in 25 l fassende Gefässe — gefüllt mit Sand-Torf-Gemisch — zur Aufpflanzung und erhielten 5 g KNO_3 , 5 g CaNO_3 , 3 g MgSO_4 , 0,3 g FeCl_3 und 10 ml A-Z-Lösung. Vier Bäumen wurden 20 mg Monocalcium, vier Bäumen 10 mg Dimagnesium, und sechs Bäumen 100 mg Tricalciumphosphat mit einer Aktivität von je 0,6 mC in wässriger Lösung verabfolgt. Um festzustellen, wie sich die Wurzeln der Apfelbäume in natürlich gelagertem Boden hinsichtlich der Aufnahme schwerlöslicher Phosphate verhalten, wurden je drei zweijährige Veredlungen von Zuccalmaglio auf EM XI, die mit Erdballen in 25 l fassende Gefässe gepflanzt worden waren, mit den gleichen Mengen markierter Phosphate versehen.

VERSUCHSERGEBNISSE

a) GEFÄSSVERSUCH.

Bei den einzelnen Versuchseinheiten des Vegetationsversuchs waren im 1. Standjahr Unterschiede hinsichtlich Grösse, Form und Farbe der Blätter bis Herbst nicht festzustellen. Im Oktober konnte jedoch beobachtet werden, dass bei den Blättern der Null-, Tricalciumphosphat- und Apatitreihe die Herbstfärbung und der Blattfall etwa 10 Tage eher eintrat als bei der Eisen- und Aluminiumphosphatreihe und 16 bis 20 Tage früher als bei den mit Mono-, Dicalcium- und Dimagnesiumphosphat versorgten Bäumen.

Im zweiten Standjahr waren bei den einzelnen Versuchsreihen deutliche Unterschiede schon beim Knospenaufbruch zu erkennen. Die *Blattentfaltung* trat zeitlich wie folgt ein: Dimagnesium —, Monocalcium —, Dicalciumphosphat; Eisen — und Aluminiumphosphatreihe; Tricalciumphosphat —, Apatit — und Nullreihe. Während der ersten Junihälfte waren bei den letztgenannten Reihen zuerst an den Blättern an der Basis der Neutriebe rote, unregelmässige Flecken zu beobachten, die von verschiedenen Forschern als Phosphormangelsymptome beschrieben wurden. Die schon 1953 durch den verfrühten Blattfall erfolgte Verkürzung der *Vegetationszeit* durch mangelhafte Phosphorversorgung zeigte sich im 2. Vegetationsjahr noch deutlicher. Der Blattfall begann bei der Nullreihe bereits Mitte Juni, wenig später bei Apatit — und Tricalciumphosphatreihe und war um den 20. November beendet. Um diesen Zeitpunkt starben fünf Bäume der Nullreihe ab. Bei der Eisen- und Aluminiumphosphatreihe trat der Blattfall erst von der zweiten Oktoberhälfte ab ein. Die mit Dimagnesiumphosphat versorgten Bäume hatten eine längere Vegetationszeit als die der Mono- und Dicalciumphosphatreihe.

Da makroskopisch festzustellen war, dass mit der Düngung verschiedener Phosphatverbindungen eine Beeinflussung von *Grösse*, *Gewicht* und *Zahl der Blätter* verbunden war, wurden diese genauer bestimmt. Wie aus Übersicht 2 zu ersehen ist, hatte die Düngung mit den offensichtlich leicht aufnehmbaren Dimagnesium —, Monocalcium — und Dicalciumphosphaten gegenüber dem schwer aufnehmbaren Apatit und Tricalciumphosphat sowie der Nullreihe eine Erhöhung von Gewicht und Zahl der Blätter zur Folge. Eisen- und Aluminiumphosphat nahmen eine Mittelstellung ein.

Die ledrige Beschaffenheit der Blätter von mit schwerlöslichen Phosphaten versorgten Bäumen regte zu histologischen Untersuchungen an. Es zeigte sich bei Blattquerschnitten, dass bei Phosphormangel dünne Blätter gebildet würden, die im Palisadenparenchym weniger Zellschichten und stark reduzierte Interzellularen aufwiesen. Auch die normalerweise weiten Interzellularräume des Schwammparenchyms waren verengt.

Aus der Übersicht 2 ist das Ausmass des Triebwachstums zu ersehen. Auch hier stand Dimagnesiumphosphat hinsichtlich einer wachstums-

ÜBERSICHT 2. — Einfluss einer Düngung mit verschiedenen Phosphaten auf die Blatt- und Triebentwicklung von Zuccalmaglio auf EM XI (2. Standjahr)

	MgHPO ₄	Ca (H ₂ PO ₄) ₂	CaHPO ₄	FePO ₄	AlPO ₄	Ca ₃ (PO ₄) ₂	Apatit	Null
Ø Frischgewicht des Einzelblattes in g	1,013	0,916	0,993	0,664	0,694	0,455	0,476	0,365
Blattzahl	583	506	540	349	258	209	234	195
Ø Fläche des Einzelblattes in cm ²	33,0	29,4	34,0	21,1	22,7	13,8	16,9	13,2
Gesamte Blattfläche in cm ²	19 003	14 826	18 307	7 361	5 857	2 856	3 487	2 555
Triebzuwachs in cm, 1954	812,3	590,1	728,7	397,8	362,9	172,0	156,3	183,8
Triebzuwachs lufttrocken in g	413,2	268,6	284,1	230,7	229,1	114,4	111,7	94,3
Triebgewicht : Stammgewicht (lufttrocken)	7,0 : 10	5,4 : 10	6,8 : 10	4,5 : 10	5,0 : 10	3,5 : 10	3,5 : 10	3,5 : 10
Wurzelgewicht %	52,3	66,9	60,9	55,6	67,5	36,7	33,5	44,3

fördernden Wirkung mit 812,3 cm Zuwachs weit an der Spitze. Eine Bestätigung erfuhrn diese Werte durch die gewichtsmässige Ermittlung des Triebzuwachses am Ende des Versuchs. Wird wie in übersicht 2 das Gewicht der lufttrockenen Triebe dem Stamm-und Wurzelgewicht gegenübergestellt, so zeigt sich, dass unter dem Einfluss einer mangelhaften Phosphorversorgung die Triebbildung, bezogen auf den Stamm, wesentlich beeinträchtigt war. Die Relation Sprossgewicht : Wurzelgewicht lässt erkennen, dass die Hemmung des Wurzelwachstums stärker war als die des Sprosswachstums. Die mikroskopische Betrachtung von Triebquerschnitten ergab, dass bei mangelhafter Phosphorversorgung der Holzkörper auffallend schwächer ausgebildet war als bei den mit leicht aufnehmbaren Phosphaten gedüngten Bäumen. Mit zunehmender Aufnehmbarkeit der Phosphate konnte bei den einzelnen Reihen ein gefördertes Wachstum in geringem Umfang bei der Rinde, in stärkerem Masse beim Bast und dem Phloem festgestellt werden. Der grösste Einfluss bestand jedoch auf das Dickenwachstum des Holzes. Der Holzkörper war bei den Bäumen der Nullreihe sehr dünn mit englumigen Tracheen, den Gefässen der Wasserleitung. Er wurde mit zunehmender Aufnehmbarkeit der verabfolgten Phosphate bei den einzelnen Reihen stärker ausgebildet und erreichte bei der optimalen Dimagnesiumphosphatreihe das Mehrfache des Umfangs der Nullreihe.

Die Ergebnisse der Blattanalysen aus dem vorliegenden Düngungsversuch, die in übersicht 3 mitgeteilt sind, liessen zunächst eine deutliche Erhöhung des Gehaltes an *Rohasche* bei den Bäumen der Dimagnesium —, Mono- und Dicalciumphosphatreihe gegenüber den anderen Versuchseinheiten erkennen.

Im Anschluss an die bisherigen Untersuchungen, die die Auswirkungen einer Düngung mit verschiedenen Phosphaten auf das Wachstum

der Apfelbäume gezeigt haben, galt es, durch *Blattanalysen* die Menge der aufgenommenen Nährstoffe, in einzelnen Beispielen die Stoffbildung in der Pflanze und die Ursachen der aufgetretenen Wachstumsstörungen zu ermitteln.

ÜBERSICHT 3. — Gehalt von Blattproben der verschiedenen Versuchsreihen vom 9.8.1954 an Rohasche, Phosphorsäure, Kali, Kalk, Magnesia, Eisen und Mangan in g pro 100 g Trockensubstanz.

	MgHPO ₄	Ca (H ₂ PO ₄) ₂	CaHPO ₄	FePO ₄	AlPO ₄	Ca ₃ (PO ₄) ₂	Apatit	Null
Rohasche ..	10,34	9,13	10,54	6,66	7,84	7,62	7,41	7,73
P ₂ O ₅	0,703	0,439	0,626	0,179	0,179	0,124	0,124	0,085
K ₂ O	2,361	2,392	2,418	1,783	1,992	2,003	2,057	1,829
CaO	3,029	2,978	3,596	2,869	2,770	1,666	1,791	1,741
MgO	0,462	0,349	0,422	0,380	0,360	0,442	0,402	0,497
Fe	0,0177	0,0167	0,0106	0,0143	0,0142	0,0150	0,0167	0,0130
Mn	0,00276	0,00202	0,00307	0,00119	0,00117	0,00076	0,00089	0,00057

Die Gehalte an *Phosphorsäure* zeigten eine deutliche Übereinstimmung mit dem Wachstum der Bäume in den einzelnen Versuchsreihen. Die Bäume der Tricalciumphosphat- und Apatitreihe hatten einen nur wenig höheren Phosphorsäuregehalt als die Nullreihe. Die Werte für Eisen- und Aluminiumphosphat liessen demgegenüber eine bessere Aufnehmbarkeit erkennen. Sehr hohe Gehalte wies die Gruppe Dimagnesium-, Mono- und Dicalciumphosphat auf.

An Hand der gesicherten Ergebnisse dieser Versuchsreihen ist in voller Übereinstimmung mit den bisher besprochenen Ergebnissen zu sagen, dass Apatit und Tricalciumphosphat nur sehr schwer, Eisen- und Aluminiumphosphat in mittlerem Umfang für die Wurzeln der Apfelbäume aufnehmbar waren. Mono- und Dicalciulmophosphat erwiesen sich als leicht aufnehmbar. Den besten Wuchs verbunden mit dem höchsten Phosphatgehalt der Blätter hatten die mit Dimagnesiumphosphat versorgten Bäume aufzuweisen.

Die *Kaligehalte* zeigen eine schwach antagonistische Tendenz zu den Phosphorsäurewerten.

Trotz gleicher Calciummengen im Substrat sind doch recht unterschiedliche *Kalkgehalte* in den Blättern festzustellen. Hier dürfte eine Korrelation zwischen verabfolgter Phosphatform und aufgenommener Calciummenge anzunehmen sein. Aus einem leichtlöslichen Calciumphosphat wurden zugleich grössere Mengen Phosphor und Calcium aufgenommen als aus den schwerlöslichen Phosphaten, aus denen weder Phosphor noch Calcium in stärkerem Umfang in die Pflanze gelangte. Eine Auswirkung einer Düngung mit verschiedenen Phosphaten auf den Gehalt der Blätter an *Magnesia* ist nicht festzustellen.

Die Werte für *Eisen* weisen auch keine Veränderungen durch die unterschiedlichen Phosphataufnahmen auf; es besteht jedoch eine starke, gegensätzliche Beziehung zu den Kalkgehalten.

Für die Gehalte an *Mangan* ergibt sich eine Steigerung mit zuneh-

mendem Phosphatgehalt. Jedoch ist auch hier ein Antagonismus zu Calcium und Mangan zu vermuten.

Untersuchungen über den Stickstoffgehalt der Blätter unter dem Einfluss einer Düngung mit verschiedenen Phosphaten zeigten, dass bei niedrigen Werten für P_2O_5 nur schwach erhöhte, jedoch statistisch nicht gesicherte Unterschiede in den Stickstoffgehalten auftraten.

Angeregt durch die unterschiedliche Blattfärbung bei den einzelnen Reihen unseres Versuches wurden Analysen über den Gehalt an *Blattpigmenten* (Chlorophyll, Xanthophyll und Karotin) durchgeführt. So bestand eine positive Beziehung zwischen dem Phosphorgehalt der Blätter und Chlorophyllmenge, mit Ausnahme der Dicalciumphosphatreihe, deren chlorotische Blätter einen niedrigen Eisengehalt hatten. Die Xanthophyllgehalte wiesen einen gegenüber den Chlorophyllgehalten gegensinnigen Verlauf auf. Eine Unterversorgung mit Phosphorsäure hatte also die Xanthophyllbildung gesteigert. Bei den Karotingehalten war eine klare Tendenz nicht zu erkennen.

Am Beispiel der *Phosphatase* schliesslich sollten die Auswirkungen einer Düngung mit verschiedenen Phosphaten auf die Enzymaktivität der einzelnen Versuchseinheiten untersucht werden. Die Blattanalysen ergaben, dass eine nahezu direkte Beziehung zwischen Phosphorgehalt und Phosphataseaktivität bestand.

b) VERSUCHE MIT MARKIERTEN PHOSPHATEN.

Da die bisher besprochenen Ergebnisse in einem Sand-Torf-Gemisch erarbeitet wurden, dem bis zu einem Grade die Eigenschaften eines natürlichen Bodens fehlen, galt es, die Ergebnisse unter natürlichen Bedingungen und mit einer anderen Sorte und Unterlage zu überprüfen, um sie auf allgemeine Verhältnisse übertragen zu können.

Es wurde daher in weiteren Versuchen die Aufnehmbarkeit von markiertem Dimagnesiumphosphat, Monocalciumphosphat und Hydroxylapatit einer näheren Betrachtung unterzogen. Die Aktivitätsmessungen wurden an der lebenden Pflanze vorgenommen. Dadurch war es möglich, die Untersuchungen über einen Zeitraum von über drei Monaten durchzuführen und so etwaige Umwandlungsvorgänge im Boden festzustellen, die eine grössere Aufnehmbarkeit insbesondere bei Hydroxylapatit zur Folge haben könnten.

Es zeigte sich bei Versuchen mit James Grieve auf der schwachen Wuchs verursachenden Unterlage EM IX in Sand-Torf-Gemisch sowie mit Zuccalmaglio auf der starken Wuchs verursachenden Unterlage EM XI in natürlich gelagertem Lehm Boden, dass deutliche Unterschiede in der Aufnehmbarkeit der verabfolgten Phosphate über einen Zeitraum von drei Monaten festzustellen waren. Bei den einjährigen Veredlungen von James Grieve auf EM IX (s. übersicht 4) hatten die Bäume, denen Dimagnesiumphosphat verabfolgt worden war, höhere Aktivitäten zu verzeichnen als die Bäume der Monocalciumphosphatreihe. Die Werte der mit

Hydroxylapatit gedüngten Bäume waren erheblich niedriger. Es muss aber hier berücksichtigt werden, dass es bei der Synthese nicht vollständig gelingt, reinen Hydroxylapatit herzustellen; kleine Beimengungen von $\text{Ca}(\text{H}_2\text{P}_4)_2$ oder CaHPO_4 sind immer vorhanden, die schnelle von der Pflanze aufgenommen werden. Es ist daher schwierig, mit markierten Phosphaten die Frage zu klären, ob Hydroxylapatit nicht oder nur in sehr geringem Umfang von den Wurzeln der Apfelbäume aufgenommen wird.

ÜBERSICHT 4. — Aktivitätsmessungen an Apfelbäumen in Sand-Torf Gemisch und natürlich gelagertem Boden nach Verabfolgung verschiedener markierter Phosphate (P^{32}) am 3.8.1954. Impulse/Minute.

Messtelle	Einjährige Veredlungen James Grieve auf EM IX in Sand-Torf Gemisch				Zweijährige Veredlungen Zuccalmaglio auf EM XI in Lehmboden			
	Mg HPO_4	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	Apatit	Relation Mg : Ca : Ap	Mg HPO_4	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	Apatit	Relation Mg : Ca : Ap
	—	—	—	—	—	—	—	—
Unter Veredlungsstelle	3 230	1 808	56	57 : 32 : 1	332	278	33	10 : 8 : 1
Über Veredlungsstelle.	160	58	2	80 : 29 : 1	94	58	4	26 : 16 : 1
10 cm Stammhöhe ..	88	18	1	86 : 18 : 1	24	18	2	15 : 11 : 1
Terminalblatt des Mitteltriebes	100	22	3	33 : 7 : 1	54	14	3	19 : 5 : 1

Gegenüber diesen Versuchen zeigten die dreimonatigen Untersuchungen mit natürlich gelagertem Lehmboden ($\text{pH n/10 KCL} = 5,60$; $\text{K}_2\text{O} = 14,9$; $\text{P}_2\text{O}_5 = 26,2$ (beide nach Egner-Riehm) eine insgesamt verminderte Aufnahme aller verabfolgten Phosphorverbindungen, aber auch deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Phosphaten.

Die Düngung von Apfelbäumen auf der Unterlage EM IX in Sand-Torf-Gemisch und EM XI in natürlich gelagertem Lehmboden mit verschiedenen markierten Phosphaten bestätigte also in mehrmonatigen Messungen, dass Dimagnesiumphosphat sehr gut, Monocalciumphosphat leicht, Hydroxylapatit dagegen nur schwer für die Wurzeln der Apfelbäume aufnehmbar sind.

ZUSAMMENFASSUNG

In zweijährigen Gefässversuchen im Freiland mit Apfelbäumen wurde das Aneignungsvermögen der Wurzeln für verschiedene Phosphatverbindungen untersucht. Als Substrat diente ein Sand-Torf-Gemisch mit einem pH-Wert von 6,5 und einem sehr geringen Phosphorgehalt.

Es zeigte sich, dass bei Düngung mit Apatit und Tricalciumphosphat das Wachstum der Bäume sehr stark, bei Eisen- und Aluminiumphosphat in mittlerem Umfang gegenüber den mit Monocalcium- und Dicalciumphosphat versorgten Bäumen beeinträchtigt war. Am besten wirkte das Dimagnesiumphosphat.

Eine verminderte Phosphataufnahme hatte einen verzögerten Beginn und einen verfrühten Abschluss der Vegetationszeit zur Folge. Gewicht

und Grösse der Blätter waren vermindert, Längen- und Dickenwachstum der Triebe gestört. Das Wurzelwachstum war in stärkerem Masse gehemmt als das Sprosswachstum.

Blattanalysen zeigten eine übereinstimmung zwischen dem P_2O_5 -Gehalt und dem Wachstum der Bäume bei allen Versuchseinheiten. Teilweise bestanden Korrelationen mit den Gehalten an Kalium, Magnesium, Eisen, Mangan und Stickstoff.

Die aufgenommene Phosphatmenge beeinflusste den Gehalt an Blattpigmenten (Chlorophyll, Xanthophyll und Karotin). Die nachgewiesenen Phosphataseaktivitäten konnten als Maßstab für die Phosphatversorgung der Bäume angesehen werden.

Die Ergebnisse wurden durch mehrmonatige Versuche mit markierten Phosphaten (P^{32}) bei Apfelbäumen in Sand-Torf-Gemisch und in natürlich gelagertem Lehmboden bestätigt. Auch hier wurde Dimagnesiumphosphat am besten, Monocalciumphosphat gut und Apatit nur in sehr geringem Umfang von den Wurzeln aufgenommen.

LITERATUR

- BOYNTON, D. Apple nutrition in : CHILDERS, N. F. Mineral nutrition of fruit crops. New Jersey, 1954.
- CHANDLER, W. H. Deciduous orchards. Philadelphia, 1947.
- FUJIWARA, A. Chemical constitution and availability of iron and aluminium phosphates. I. Studies on the constitutions and manuriel effects of scarcely soluble phosphates. Ref. : Z. Pfl. ern. Dgg und Bdk. 66 : 173-4, 1954.
- GERICKE, S. Beziehungen zwischen den Wachstumsfaktoren Kalk und Phosphorsäure. Z. Acker-u. Pfl.bau 93 : 141-68, 1949.
- HILKENBÄUMER, F. Zur Frage der Phosphorsäuredüngung bei Obstgehölzen. Rhein. Monatsschr. Gem., Obst- u. Gartenb. 40 : 141-2, 1952.
- Obstbau ; Grundlagen, Anbau und Betrieb. 3. Auflage. Berlin, 1953.
- KOBEL, F., FRITZSCHE, R., GERBER, H. und BUSSMANN, A. Ein Vegetationsversuch mit Topfobstbäumen. I. und II. Schw. Z. Obst- u. Weinb. 61 : 103, 107, 1952.
- SAUCHELLI, V. Manual on phosphates in agriculture. Baltimore, 1951.
- SCOTT, L. E. Response of peach trees to potassium, and phosphorus fertilizers in the Sandhill area of the Southeast. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 36 : 56-60, 1939.
- TRUOG, E. The utilization of phosphates by agricultural crops, including a new theory regarding the feeding power of plants. Uni. Wisconsin Agr. Exp. Sta. Bull. 41 : 1916.
- VEERHOFF, O. Phosphorus deficiency of peach trees in the Sandhills area of North California. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 50 : 209-18, 1947.
- WALLACE, T. The diagnosis of mineral deficiencies in plants by visual symptoms. London, 1951.

Recherche d'une exploitation rationnelle de l'hévéa d'après un diagnostic physiologique reposant sur l'analyse minérale de diverses parties de la plante

par E.-R. BEAUFILS

Institut Français du Caoutchouc, Paris.

Nous exposerons ici l'ensemble des conclusions et des résultats pratiques des travaux que nous avons entrepris ces dernières années à l'I. R. C. I. concernant l'analyse minérale de tissus et produits de l'hévéa et qui ont été discutés en détail dans diverses publications (cf. Bibliographie).

Nos observations et les lois ou critères qui en ont été tirées, portent sur des dizaines de milliers d'analyses effectuées sur des feuilles, des latex ou des graines provenant de sujets d'âges et d'origine génétique différents placés dans les conditions les plus diverses de sol, de saison et de systèmes d'exploitation.

Ces lois et ces critères ont servi de base à l'établissement d'une méthode *directe et générale* (diagnostic physiologique) qui permet de déterminer et de contrôler à tous moments l'état physiologique des cultures, c'est-à-dire de définir leurs possibilités et leurs besoins.

Cette méthode permet donc ainsi d'envisager ; compte tenu de ces possibilités et de ces besoins ; soit d'intensifier l'exploitation sans aucun danger pour la santé des hévéas (stimulation par enduit à base d'hormones, injections, intensification de la saignée, etc...) soit d'effectuer des apports compensateurs au sol pour corriger des carences reconnues, soit de combiner l'intensification de l'exploitation et l'apport d'éléments au sol, ce dernier dans le but d'aider la plante à corriger un déséquilibre éventuel du métabolisme minéral provoqué par cette intensification d'exploitation.

Nous exposerons succinctement ces lois et critères de bases ; le mécanisme de cette méthode et les résultats déjà effectivement acquis par son application dans le domaine pratique.

Avant de commencer cet exposé, nous soulignerons qu'un point particulier de cette méthode est qu'elle est basée essentiellement sur l'étude comparative de l'assimilation minérale (analyse des feuilles) et de l'utilisation des éléments minéraux assimilés (analyse des latex et éventuellement des graines). Cette particularité lui permet d'être une méthode *directe et générale*.

*rale ; directe car pour son emploi, il n'est pas nécessaire de se référer à un témoin ; générale car l'on peut sans restriction « diagnostiquer » à *n'importe quel moment désiré* l'état physiologique de *n'importe quel* hévéa.*

I. — EXPOSÉ ET DISCUSSION DES NOTIONS, CRITÈRES ET LOIS PHYSIOLOGIQUES QUI ONT SERVI DE BASE A L'ÉTABLISSEMENT DE LA MÉTHODE DE DIAGNOSTIC

Ces notions, critères et lois physiologiques ont été tirées d'analyses effectuées aussi bien dans les feuilles que dans le latex et les graines d'hévéa ; certaines se limitent à un seul de ces constituants (feuilles, latex ou graines), d'autres relient directement les compositions de ces constituants, soit entre eux, soit à la production, à la stabilité des latex, ou à la santé des arbres. Toutes ces variables se limitent réciproquement par un ensemble de réactions d'équilibres.

1^o RELATIONS ÉTABLIES ENTRE LES CONSTITUANTS DES FEUILLES.

— Toute variation de la teneur d'un élément minéral à un moment donné entraîne corrélativement une variation de *même sens* ou de *sens contraire* pour un ou plusieurs autres éléments quelles que soient leurs importances pondérales relatives.

— Le rapport des deux éléments antagonistes K et Ca peut être considéré comme reflétant, dans une certaine mesure, l'ensemble des équilibres chimiques au niveau des feuilles puisque les variations de l'azote, du soufre, du phosphore, du fer et du cuivre, sont rattachées à celles de K et que les variations du magnésium, du manganèse et du sodium sont rattachées à celles de Ca. (cf. figure 1).

Les éléments du premier groupe cité sont rattachés au système aqueux des feuilles, les éléments du second groupe l'étant à la matière sèche.

— Les variations du rapport K/Ca sont en corrélations inverses hautement significatives avec les variations du rapport Mn/Cu à l'échelon oligo-éléments. Cette constatation constitue l'un des critères sur lesquels repose le diagnostic (Critère C 1).

— La rigueur des relations qui se manifestent entre les éléments dans un même groupe ou d'un groupe à l'autre, varie au cours de l'année ; ces corrélations apparaissent le plus nettement en mars (juste après la refoliation) et en décembre (juste avant l'hivernage) elles ont été trouvées plus irrégulières en juin et dans des cas de carences minérales.

— Les éléments du « groupe potassium » pondéralement les plus importants lors de la croissance (refoliation) ont ensuite tendance à « migrer » au fur et à mesure que les éléments du « groupe calcium » s'accumulent jusqu'à l'hivernage. Le cas du magnésium qui entre en partie dans la constitution de la chlorophylle est ici un peu spécial, car il existe également dans les feuilles sous une forme ionisée susceptible de migrer. Notre hypothèse

est que cette partie ionisée est déplacée progressivement par l'ion Ca⁺⁺ au fur et à mesure de l'assimilation de ce dernier donnant lieu en particulier à la formation d'un oxalate de calcium plus insoluble donc plus stable que celui de Mg⁺⁺ (*).

— Les éléments N, P et K des feuilles ont pu être reliés entre eux par une formule générale applicable à tous les hévéas quels qu'ils soient, à condition que le sol indépendamment de son origine puisse répondre à leurs besoins.

On a la relation générale (**)

$$\boxed{N \simeq a K \simeq a^2 P} \quad (I)$$

formule dans laquelle le coefficient d'assimilation « a » admet une certaine possibilité de variation entre des limites allant grosso modo de 3,4 à 4,3 (cf. figure II et tableau I).

Cette valeur du coefficient « a » ne varie dans de larges limites que dans les cas de carences minérales, ou de déséquilibres physiologiques provoqués par une exploitation particulièrement intense, déséquilibre pouvant être passager ou permanent selon les ressources minérales du sol (cf. figure II).

— Le rapport du soufre au phosphore dans les feuilles doit être sensiblement de l'ordre de l'unité :

$$\boxed{S \simeq P} \quad \text{ou} \quad \boxed{S/P \simeq 1} \quad (II)$$

2^o RELATIONS ÉTABLIES ENTRE LES CONSTITUANTS DES LATEX.

— Tous les éléments minéraux des latex varient *dans le même sens* et à l'inverse de la teneur en caoutchouc. Ils sont donc rattachés à la phase liquide ou dispersante : le sérum (cf. figure I).

— Les teneurs en *potassium* rapportées au sérum sont pratiquement peu influencées par les facteurs qui conditionnent habituellement la variabilité du latex, *exception faite des cas de carences minérales*. Dans tous les cas où le sol peut répondre aux besoins de l'hévéa, la valeur du potassium est donnée par la relation générale :

$$\boxed{K \% \text{ sérum des latex} = 0,28 + 0,04} \quad (III)$$

(*) L'expérience a montré en effet qu'un apport de calcium au sol ayant été fortement assimilé dans les feuilles (teneurs doublées par rapport au témoin) a provoqué une augmentation de 79 % de la teneur en magnésium dans les latex. Il s'agissait d'un cas de carence reconnue en calcium ; une augmentation de production corrélative de l'ordre de 30 % sur une période de 10 mois après l'épandage de chaux a pu être enregistrée également.

(**) Il nous a été possible en effet de démontrer que cette relation est applicable à tous les chiffres fournis par la littérature concernant des analyses effectuées sur des feuilles d'hévéas d'origines les plus diverses. Il en est de même de la relation (V) concernant ces mêmes éléments dans les latex.

La vérification de cette valeur est la première détermination que nous effectuons lorsque nous établissons un « diagnostic ».

— Les teneurs en *phosphore* sont plus influençables et ont tendance à augmenter assez fortement sous l'effet des facteurs favorables à la production (enduits d'hormones, engrais appropriés, injections) et à diminuer dans les cas contraires (carences alimentaires, exploitation insuffisamment intense, etc...). En conséquence, on vise directement l'augmentation de production chaque fois que l'on provoque par un moyen quelconque une baisse du rapport K/P dans les latex par augmentation de P, la valeur de K n'étant pas modifiée ; cette baisse du rapport K/P conduit à un déséquilibre minéral passager que l'on provoque volontairement, le tout est de bien savoir si d'une part, l'état physiologique des arbres visés permet d'envisager la création de ce déséquilibre passager sans danger pour la plante et si d'autre part, le sol est en mesure d'aider ces arbres à rétablir leur équilibre normal en répondant aux besoins ainsi créés délibérément. Le diagnostic physiologique que nous établissons vise à répondre à ces questions.

— Les teneurs en *magnésium* sont plutôt conditionnées par l'origine végétale.

— Les teneurs en *azote* et *cuivre* semblent plutôt influencées par des facteurs d'ordre climatique ou saisonnier.

— Le rapport Mg/P des latex est une caractéristique clonale importante et conditionne la stabilité naturelle des latex.

L'étude de ce rapport nous a amené à vérifier que la *stabilité naturelle* des latex est la meilleure lorsque ce rapport tend vers l'unité. Cette observation nous conduit à la relation générale : (*)

$$\boxed{\text{Mg} \simeq \text{P}} \quad \text{ou} \quad \boxed{\text{Mg}/\text{P} \simeq 1} \quad (\text{IV})$$

Ce rapport peut, toutefois, comme nous le verrons, être modifié délibérément sous l'effet d'une alimentation appropriée ou d'une stimulation ; sa connaissance peut, en conséquence, permettre de déterminer le choix d'un matériel végétal compte tenu de l'origine du sol (volcanique, alluvionnaire, etc...) sur lequel on veut l'implanter.

— Un point particulier des latex est la teneur extrêmement faible de l'élément calcium, réduit au niveau d'oligo-élément ; son rôle au sein du latex paraît négligeable, l'explication est que cet élément s'accumulant dans les feuilles ne migre pas vers les produits de translocation terminaux tels que latex ou graines. Nous avons pu démontrer que son assimilation favorise l'utilisation à partir des feuilles des éléments « migrants » que l'on retrouve notamment dans les latex ; cette action est étroitement et directement favorable à la production à condition que les réserves en éléments migrants N, P, K, Mg soient suffisantes et bien équilibrées.

(*) Une relation similaire a été également établie dans le cas de latex centrifugés par PHILPOTT et WESTGARTH en Malaisie.

— L'utilisation au niveau des panneaux laticifères des éléments N, P et K s'effectue normalement selon des rapports déterminés que l'on peut formuler par la relation générale suivante :

$$2N \simeq aK \simeq a^2P \quad (V)$$

où l'on retrouve le coefficient « a » mentionné pour les éléments des feuilles. Ce coefficient ne varie dans de larges limites que sous l'influence des mêmes facteurs qui le font varier dans le cas des feuilles. Certains de ces facteurs peuvent d'ailleurs être très favorables à une augmentation de production ; en particulier ceux qui favorisent un déséquilibre minéral vers une diminution des rapports K/P et N/P. Ce déséquilibre et l'augmentation de production qui en résulte sont passagers, l'arbre tendant à rétablir de lui-même son équilibre normal en puisant dans le sol, les éléments minéraux qui lui sont nécessaires. Si ces éléments lui font défaut, le déséquilibre initial s'accentue et la production tombe alors rapidement en dessous de la « normale » ; le bilan général de l'opération est alors illusoire ou négatif car il s'effectue uniquement au détriment des réserves, donc de l'état physiologique des arbres ; dans ce cas il faut prévoir d'urgence des apports compensateurs au sol.

A noter que si l'utilisation des éléments K et P dans l'élaboration du latex s'effectue dans le rapport de leur assimilation, celle de l'azote se fait dans un rapport moitié moindre.

— Le rapport du cuivre au potassium au sein des sérumns doit être de l'ordre de un à mille.

$$K/Cu \simeq 1.000 \quad (VI)$$

Une variation très importante de la valeur de ce rapport peut être un indice d'un mauvais métabolisme minéral résultant d'une carence qu'il y a lieu de déterminer.

3^e RELATIONS ÉTABLIES ENTRE LES CONSTITUANTS DES GRAINES.

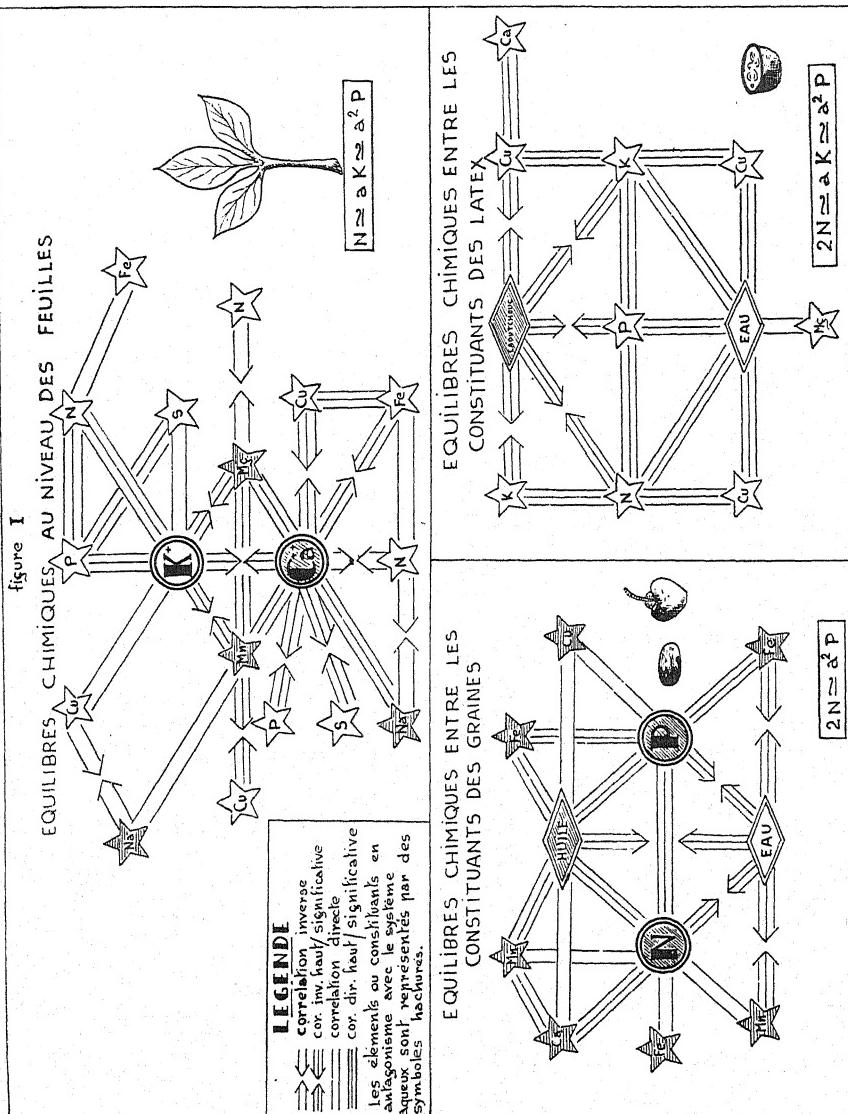
— Tous les éléments minéraux des graines varient *dans le même sens* et à l'inverse des teneurs en eau. Ils sont rattachés aux variations des teneurs en huile (cf. figure 1).

— Les rapports reliant les variations des teneurs en huile et azote, huile et phosphore, azote et phosphore, phosphore et fer sont approximativement constants.

— L'utilisation des éléments N et P au niveau des graines s'effectue dans le même rapport que dans les latex, nous retrouvons ici la relation générale entre N et P mentionnée dans le cas des latex :

$$2N \simeq a^2P \quad (V \ bis)$$

— L'importance pondérale de l'élément calcium est très faible puisque ses teneurs sont de l'ordre de celles du fer.



Cette observation est analogue à celle qui a déjà été faite dans le cas des latex et nous paraît caractéristique des produits de translocation.

4^o RELATIONS ENTRE LES COMPOSITIONS DES FEUILLES, DES LATEX ET DES GRAINES.

— Les variations du rapport K/Ca, reflet dans certaines conditions des équilibres minéraux au niveau des feuilles, sont en corrélations *inverses* hautement significatives pour une *époque donnée* avec les teneurs en magnésium des latex (Critère : C. 2).

— Les variations du rapport K/Ca sont également en corrélation hautement significatives mais *directes* avec les teneurs en caoutchouc des latex (Critère : C. 3).

— Les rapports des éléments N, P, K entre feuilles et latex sont assez variables selon les cas, mais ces variations s'effectuent normalement dans le même sens et dans les mêmes proportions réciproques pour chacun des 3 éléments. Ceci fait que dans des conditions normales de production et de végétation (ni carence, ni stimulation, ni apport d'engrais inconsidérés) les valeurs de K feuilles/K latex sont égales à celles de P feuilles/P latex et ont une valeur de moitié inférieure à celles de N feuilles/N latex.

On a la relation suivante, corollaire de I et V.

$$\frac{N \text{ feuilles}}{2 N \text{ latex}} \simeq \frac{K \text{ feuilles}}{K \text{ latex}} \simeq \frac{P \text{ feuilles}}{P \text{ latex}} \quad (\text{VII})$$

Cette relation indique nettement que l'assimilation et l'utilisation normales d'un des éléments N, P ou K est conditionnée par l'assimilation des deux autres dans des rapports réciproques bien déterminés.

Ces rapports prennent des valeurs *fortement divergentes entr'elles* dans des cas de carences minérales ou d'exploitation intensifiée, ce qui est logique puisque ces cas sont à l'origine de tout déséquilibre du métabolisme minéral (Voir fig. 3).

— Les variations des teneurs en caoutchouc des latex et des teneurs en huile des graines sont en corrélation directe hautement significatives. Ceci laisse entendre qu'il existe un antagonisme général entre les éléments minéraux des latex variant à l'inverse des teneurs en caoutchouc et ces mêmes éléments minéraux des graines variant dans le même sens que les teneurs en huile. Autrement dit, on peut prévoir l'existence d'une concurrence équilibrée des besoins en éléments minéraux pour l'élaboration du latex d'une part, des graines d'autre part.

5^o RELATIONS ENTRE PRODUCTION, STABILITÉ DES LATEX, SANTÉ DES ARBRES ET MÉTABOLISME MINÉRAL.

— Il nous a été possible de rattacher très étroitement et très fidèlement les variations des productions à certaines variations caractéristiques du métabolisme minéral.

Pour nous résumer, nous pouvons dire que :

« La production d'un matériel végétal donné est en rapport direct avec son assimilation calcique à condition que ce matériel possède des réserves suffisantes et équilibrées en éléments N, P, K et Mg. »

Autrement dit, cette production est limitée soit :

a) par un manque de réserves minérales par rapport à l'amplitude de l'assimilation calcique ce qui conduit à des précoagulations spontanées sur les encoches de saignée. Le rapport K/Ca des feuilles devient trop faible et corrélativement le rapport Mg/P des latex trop fort provoquant l'instabilité naturelle des latex par un phénomène apparemment d'ordre physico-chimique qui de toute façon, exprime un déséquilibre accentué du métabolisme minéral (V. fig. 3).

b) par une assimilation calcique défectiveuse d'où résulte une accumulation de ces éléments N, P, K et Mg dans les feuilles, c'est-à-dire une mauvaise utilisation de ces éléments pouvant également provoquer des précoagulations naturelles sur encoches par suite d'un déséquilibre minéral en sens inverse du précédent (V. fig. 3).

— Il est bien évident que les variations de l'*assimilation minérale résultent* de l'influence conjuguée de nombreux facteurs naturels ; climatologie, physiologie, etc... ou artificiel ; intensité d'exploitation, stimulation, etc... qui créent des besoins à l'arbre et auxquels le sol doit répondre.

— Si l'on rappelle que d'une part un bon équilibre entre les éléments manganèse et cuivre des feuilles conditionne la fréquence des précoagulations sur encoches et que d'autre part un apport de cuivre au sol dans certains cas de carences minérales bien déterminées, favorise l'assimilation notamment du potassium et du phosphore ; on peut finalement affirmer que chacun des éléments minéraux N, P, K, Ca, Mg, Mn et Cu peut devenir facteur limitant direct de la production (*).

II — EXPOSÉ SUCCINCT ET DISCUSSION DE LA MÉTHODE DE DIAGNOSTIC ÉTABLIE A PARTIR DES DONNÉES PRÉCÉDENTES

Le diagnostic que nous établissons repose sur l'analyse des éléments N, P, K, S, Ca, Mg, Mn et Cu dans les feuilles, des éléments N, P, K, Mg et Cu dans les latex. On analyse également les teneurs en caoutchouc des latex.

(*) Il nous a été possible à ce sujet de démontrer notamment qu'un simple apport de sulfate de cuivre (12 kg/ha) épandu à la volée sur un sol où la carence cuprique avait été reconnue, augmentait significativement et rapidement la production de caoutchouc des arbres.

Il nous est actuellement possible de déterminer *directement* pour tous les hévéas en exploitation, les carences en éléments : N, P, K, S, Ca, Mg, Mn et Cu à partir des résultats d'analyses précédents.

Nous n'utilisons pas encore la composition minérale des graines qui nous le pensons, pourra servir ultérieurement à diagnostiquer un peu plus à fond l'état de jeunes cultures non encore en exploitation. Il est toutefois possible dès à présent de connaître les besoins en éléments N, P, K, S de ces jeunes cultures par application des relations (I) et (II) énoncées précédemment.

Les méthodes de prélèvement et d'analyses sont décrites dans la bibliographie, rappelons cependant que les pétioles des feuilles prélevées sont coupés au ras du limbe et éliminés ; ces feuilles doivent toujours être de l'année et arrivées à maturité. Les dates de prélèvement sont indifférentes, mais il est toutefois préférable d'effectuer les diagnostics aux périodes de fortes productions c'est-à-dire au moment où les besoins de l'arbre en éléments minéraux sont les plus intenses et où des déséquilibres possibles du métabolisme minéral sont par conséquent les mieux mis en évidence.

Processus d'interprétation des résultats.

Les éléments minéraux des feuilles déterminés par l'analyse sont rapportés en % de matière sèche ; les éléments minéraux des latex en % du sérum.

On effectue les rapports N/K, N/P, S/P, K/Ca et Mn/Cu dans les feuilles, N/K, N/P, K/P, Mg/P et K/Cu dans les latex ; N/N, K/K et P/P entre feuilles et latex.

Le tableau I ci-dessous groupe les différentes valeurs que peuvent prendre certains de ces rapports dans les feuilles ou les latex selon les conditions de végétation (*).

Ces valeurs ont été établies à l'I. R. C. I. au cours des années 1951-1952 1953-1954 et 1955 pour des parcelles très diverses plantées soit à Laikhé, soit sur différentes plantations d'Indochine en terres rouges ou en terres grises. Nous avons pu en confirmer et en généraliser la plupart pour tous les hévéas quel que soit le pays où ils sont plantés (cf. Bibliographie : E. R. Beaufils, Annales Agronomiques, N° 2, mars-avril 1956, p. 205).

Pour toutes les valeurs que nous étudions lors de l'interprétation, nous avons adopté le système de représentation schématique suivant :

Une flèche horizontale pour un équilibre normal.

Une flèche inclinée vers le haut ou vers le bas pour une tendance au déséquilibre.

Une flèche verticale dirigée vers le haut ou vers le bas pour un déséquilibre marqué.

(*) Les différentes valeurs limites ont été calculées compte tenu des erreurs aux échantillonnages et aux dosages de chacun des éléments intéressés.

TABLEAU 1

Rapports		Valeurs considérées comme normales	Valeurs dénotant une tendance au déséquilibre	Valeurs dénotant des rapports fortement déséquilibrés
K/P	Feuilles	de 3,4 à 4,3 (a)	de 2,9 à 3,3 et de 4,4 à 4,8 id.	au-dessous de 2,9 et au-dessus de 4,8 id.
	Latex	id. (a)		
N/K	Feuilles	id. (a) de 1,6 à 2,1 (a/2)	id. de 1,3 à 1,5 et de 2,2 à 2,4	id. au-dessous de 1,3 et au-dessus de 2,4
	Latex			
N/P	Feuilles	de 12,7 à 16,1 (a ²)	de 10,8 à 12,6 et de 16,2 à 18,0 de 5,3 à 6,1 et de 8,1 à 9,0	au-dessous de 10,8 et au-dessus de 18,0 au-dessous de 5,3 et au-dessus de 9,0
	Latex	de 6,2 à 8,0 (a ² /2)		
S/P	Feuilles	de 0,8 à 1,2	de 0,5 à 0,7 et de 1,3 à 1,5	au-dessous de 0,5 au-dessus de 1,5
	Latex	de 0,8 à 1,2	de 0,5 à 0,7 et de 1,3 à 1,5	au-dessous de 0,5 au-dessus de 1,5
K/Cu	Latex	de 800 à 1.200	de 500 à 700 et de 1.300 à 1.500	au-dessous de 500 au-dessus de 1.500
K %	Sérum	de 0,26 à 0,30	de 0,24 et 0,25 0,31 et 0,32	au-dessous de 0,24 au-dessus de 0,32
Représentation schématique				

On définit la situation pour un élément donné en comparant les 2 flèches correspondant aux 2 équilibres dans lequel il figure.

exemple : N/K ↑ et K/P ↓ indique une carence en potassium, etc...

Cette représentation schématique correspond à la figure II qui permet par un système de lecture directe de déterminer la valeur relative des éléments N,P et K dans les feuilles. Un dispositif semblable peut être adopté pour l'utilisation de ces éléments au sein des latex en se rapportant aux chiffres du tableau I.

Pour ce qui concerne les valeurs des équilibres K/Ca et Mn/Cu nous avons établi des zones de correspondances entre leurs variations réciproques d'une part et celles d'autre part des D. R. C. (teneur en caoutchouc des latex), des teneurs en magnésium des latex (rapportées à l'extrait sec) et de la fréquence des précoagulations sur encoche.

Ceci exposé, la situation respective de chaque élément se détermine de proche en proche selon le processus suivant :

1^o La première valeur considérée est celle du potassium rapporté au sérum des latex (tableau 1), cette valeur étant en effet la *seule donnée* pour un élément en *valeur absolue* est très importante car *elle fixe le niveau* des rapports étudiés par la suite.

2^o Sa connaissance permet de déterminer la situation des éléments N,P et Cu au sein des latex par l'étude des rapports N/K, K/P, N/P et K/Cu des latex.

3^o La connaissance de P permet ensuite de déterminer la situation de Mg dans le latex par l'étude du rapport Mg/P.

4^o L'étude des rapports N/K, N/P, et K/P des feuilles permet de déterminer directement d'après le tableau 1, les situations respectives des éléments N, P et K dans les feuilles.

5^o L'étude des rapports N/N, K/K et P/P entre feuilles et latex permet de déterminer leurs situations en valeurs absolues.

6^o Connaissant la situation de P, dans les feuilles, on en détermine directement celle de S par l'étude du rapport S/P.

7^o Connaissant la situation du potassium dans les feuilles et du magnésium dans les latex, on peut déterminer celle du calcium par l'étude du rapport K/Ca dans les feuilles (critère C. 2).

8^o On compare également la valeur du rapport K/Ca à celle du D. R. C. et l'on tiendra compte également de la valeur de la stabilité naturelle des latex (critère C. 3).

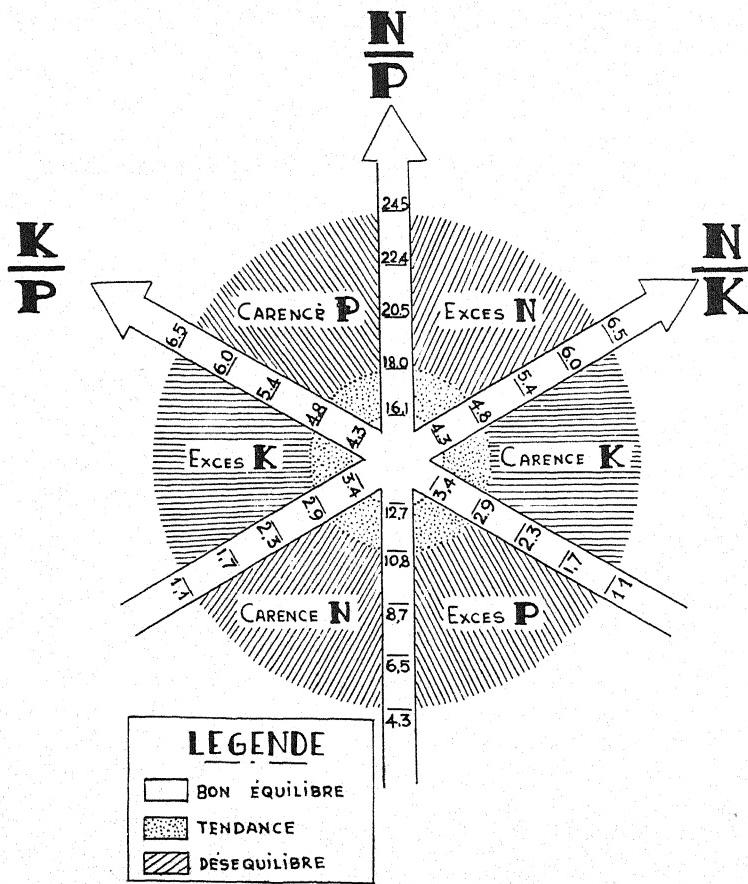


FIG. 2. — Recherche de carence par l'étude de l'équilibre N - P - K dans les feuilles de l'hévéa.

9^o Compte tenu de ces notions, une teneur insuffisante du magnésium dans les latex correspondant à des valeurs normales pour K et Ca indique une carence magnésienne.

10^o De même une teneur en cuivre insuffisante dans les latex correspondant à des teneurs normales en éléments K et Ca indique une carence cuprique.

11^o Enfin connaissant la situation des éléments K, Ca et Cu, on en détermine la situation pour le manganèse d'après l'examen des zones d'équilibres entre les rapports K/Ca et Mn/Cu (*) (Critère C. 1).

III — RÉSULTATS ET OBSERVATIONS PRATIQUES TIRÉES DE CE CONTROLE PHYSIOLOGIQUE

De nombreuses expériences d'apports minéraux au sol ont été effectuées d'après les données de ce diagnostic : ces expériences montées selon les principes des statistiques agronomiques ont permis de contrôler périodiquement les diverses variations du métabolisme minéral en enregistrant corrélativement les fluctuations de la production et de la stabilité des latex.

Nous résumons ci-dessous les résultats obtenus et les observations pratiques que nous avons pu tirer de ces expériences.

— L'assimilation minérale des éléments compensateurs apportés au sol est très rapide pour l'hévéa ; de un à quatre mois pour des épandages effectués « à la volée ».

— Les besoins de l'hévéa en éléments minéraux varient au cours de l'année pour un pays comme l'Indochine où les périodes physiologiques suivent de très près des fluctuations saisonnières particulièrement bien marquées.

— Les besoins en éléments N, P, K sont les plus élevés au moment de la refoliation. Du degré d'assimilation de ces éléments à cette période dépendra dans une large part les productions des mois futurs.

— Les besoins en chaux se feront de plus en plus sentir lors de la migration des premiers, cet élément basique bivalent servant de régulateur aux processus de synthèse des matières protéiques.

— Compte tenu de la rapidité de l'assimilation, des besoins de l'hévéa, du degré de solubilité des produits apportés au sol et de leurs interactions ioniques ; un apport de N, P ou K devra se faire entre mi-novembre et mi-février un apport de Ca, début mai. Il est toujours préférable d'effectuer le plus grand nombre d'épandages possibles.

— Dans un cas de carence reconnu en phosphore, l'emploi du phosphate tricalcique très peu ionisé est à rejeter.

(*) La détermination rigoureuse de la situation des éléments Mn et Cu n'est pas strictement obligatoire, puisqu'en principe on ajoute automatiquement du sulfate de cuivre à un engrais du type N, P, K, Mg, épandu *avant refoliation*.

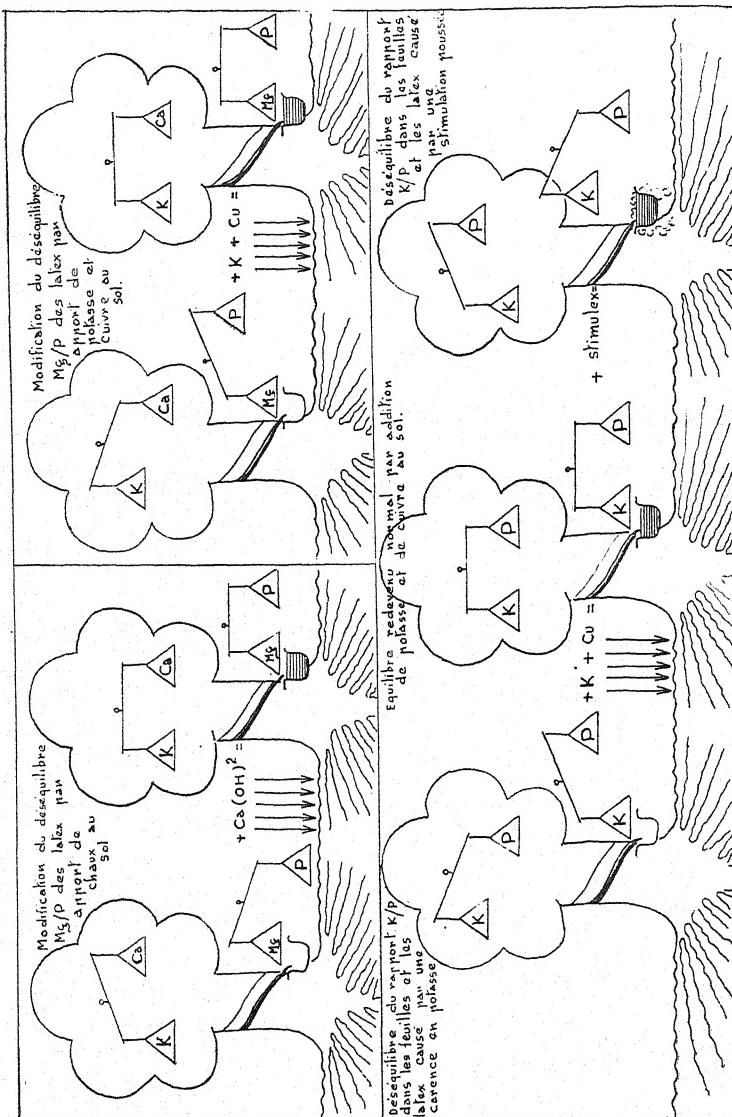


FIG. 3. — Quelques aspects des modifications de la composition minérale des latex par rapport à la composition minérale des feuillages en fonction des conditions de l'assimilation des arbres.

— L'addition de sulfate de cuivre à un produit du type N, P ou K est recommandable compte tenu du pH du sol (entre 4 et 5), on devra par contre éviter d'ajouter du sulfate de cuivre à un engrais calcique quand il y a lieu de corriger une carence en Ca.

— Au cours des diverses expériences établies à partir des résultats du diagnostic physiologique dont les principes et la méthode sont énoncées

ici, l'apport au sol dans les conditions favorables que nous venons de décrire des produits commerciaux tels que : chlorure de potassium, sulfate de potassium, chaux vive, phosphate bicalcique, sulfate d'ammoniaque et sulfate de cuivre ont amélioré l'état physiologique des parcelles traitées favorisant des augmentations de productions rapides, substantielles et rentables dans tous les cas.

— Des diagnostics physiologiques sont effectués actuellement de façon automatique et périodique sur toutes les grandes plantations d'*Indochine sans exception*. Au cours de l'année 1955 un total de 300 diagnostics a été établi pour ces Sociétés de plantations du Vietnam et du Cambodge qui ont permis dans tous les cas de préconiser des formules d'apports minéraux compensateur au sol. En plus des produits mentionnés ci-dessus et qui ont déjà fait leurs preuves des apports au sol d'autres produits moins usités tels que dolomites, phosphates d'ammoniaque, sulfate de magnésium, sulfate de manganèse, soufre en fleur, etc... viennent d'être effectués ; les contrôles sont en cours.

A la demande des planteurs, il est prévu pour l'année 1956 de doubler le nombre de ces diagnostics physiologiques.

CONCLUSIONS

En complétant la notion et l'étude de « l'assimilation » minérale par la notion et l'étude de « l'utilisation » des éléments assimilés, il a été possible d'établir une méthode *directe et générale* de détermination de l'état physiologique d'une culture et par conséquent de connaître ses besoins et de les satisfaire rapidement.

La connaissance suivie de l'état physiologique des parcelles permet de tirer constamment parti des possibilités potentielles de ces cultures par des procédés appropriés d'intensification d'exploitation sans aucun danger pour la santé des arbres ; cette connaissance permet également de corriger des déséquilibres minéraux existants ou qui ont pu être créés par une exploitation intensive, ceci, en effectuant des apports compensateurs au sol judicieusement formulés et dosés.

Il n'est pas impossible de penser que des méthodes similaires basées sur ces mêmes principes « d'assimilation et d'utilisation comparée » peuvent être établies pour d'autres cultures que l'hévéa en étudiant le métabolisme minéral des feuilles et en le comparant à celui du (ou des) produit final résultant des processus de translocation des éléments minéraux à partir des feuilles. De toute façon reprenant les propres termes de Prévot et Ollagnier : « l'utilisation plus rationnelle du diagnostic foliaire réclame des recherches de la physiologie sur les innombrables facteurs qui relient la relation : Rendement = f (teneurs en éléments minéraux) ».

Ce travail de recherche dont nous venons d'exposer les principaux résultats fait partie du programme de l'I. R. C. I. concernant l'étude de l'analyse des plantes et du problème des engrains minéraux ; nous tenons

à remercier son directeur Monsieur P. Compagnon pour ses conseils judicieux et ses encouragements.

Nous tenons à remercier particulièrement Monsieur [le professeur J. E. Courtois qui depuis son passage à notre station de Laikhé (Sud-Vietnam) s'est intéressé à notre travail et a bien voulu [nous éclairer de ses conseils éminents.

Nos remerciements vont également à tous les planteurs d'Indochine et spécialement aux dirigeants de la Société Michelin et à leurs ingénieurs dont Monsieur Ch. Vogel (Chef du bureau de culture de cette Société) pour leur collaboration financière et technique, facteur limitant le plus important de l'obtention de résultats pratiques valables.

Nous n'oublierons pas de remercier également les membres de notre équipe vietnamienne et spécialement Monsieur Vo-Thanh-Long pour leur assistance technique dévouée et solide.

BIBLIOGRAPHIE

- E. R. BEAUFILS. Rapports annuels de l'I. R. C. I. pour les années 1949-1950-1951-1952-1953-1954 et 1955.
- G. W. CHAPMAN. Leaf analysis and plant nutrition. Soil Science, 52, 53 (1941).
- E. R. BEAUFILS. Méthodes d'analyses utilisées à l'I. R. C. I. pour le dosage de neuf éléments minéraux dans les latex et les feuillages. Caoutchouc, Série Indochine, n° 12, août 1954, pp. 5-22.
- P. TIXIER et E. R. BEAUFILS. Diagnostic foliaire de l'hévéa : application à une expérience d'engraissage en terre grise. Archief voor de Rubbercultuur, extra nummer, 1 pp. 70-77. Conférence de Bogor (1953).
- E. R. BEAUFILS. Etude des éléments minéraux dans le latex et plus particulièrement du potassium et du cuivre. Archief voor de Rubbercultuur, extra nummer 2, pp. 71-80. Conférence de Bogor (1953).
- E. R. BEAUFILS. Mineral diagnosis of some Hevea brasiliensis. Archives of Rubber Cultivation, 32, pp. 1-47 (1955).
- E. R. BEAUFILS. Mineral elements in green latex. Proceedings of the third Rubber Technology Conference. Londres, 1954.
- E. R. BEAUFILS. Recherches sur la variation des constituants minéraux dans les feuilles et le latex de l'Hevea brasiliensis. Rev. gén. du Caoutchouc, 32, pp. 323-331 (1955) et Bulletin de la Société de Chimie biologique, 37, pp. 349-360 (1955).
- P. COMPAGNON et E. R. BEAUFILS. Sur l'activité du cuivre en tant qu'oligo-élément dans l'assimilation minérale de l'Hevea brasiliensis. C. R. Académie des Sciences, 240, pp. 1493-1495 (1955), séance du 28 mars 1955.
- E. R. BEAUFILS. Les équilibres minéraux dans le feuillage et dans le latex de l'hevea brasiliensis, sous presse, à paraître dans Les Annales agronomiques n° 2, mars-avril 1956, p. 205-218.
- E. R. BEAUFILS. Considérations physiologiques sur la composition minérale des graines d'hévéa, sous presse, à paraître dans la revue Oléagineux, n° 6, juin 1956, pp. 379-384.
- E. R. BEAUFILS. Capacité clonale de production en rapport direct avec la capacité clonale d'assimilation faisant apparaître une notion de potentiel minéral dynamique chez l'hévéa. Caoutchouc série Indochine, n° 14, août 1955, pp. 19-24.
- P. COMPAGNON. Le diagnostic minéral et ses résultats pratiques. Rev. Gén. du Caoutchouc 33, pp. 9-11 (1956).
- P. PREVOT et M. OLLAGNIER. Relations entre rendement, croissance et pourcentage en éléments minéraux dans les tissus végétaux ; les niveaux critiques. Bulletin de la Société Française de Physiologie végétale, n° 3, 47-54 (déc. 1955).
- J. CAMPAIGNOLLE. Vers l'utilisation de la stimulation comme méthode normale d'exploitation. Caoutchouc, série Indochine, n° 14, août 1955, pp. 25-35.
- M. W. PHILPOTT et D. R. WESTGARTH. J. Rubb. Res. Inst. Malaya 14, 133, 1953.

DISCUSSION

Dr. LEYTON. — *Existence of numerous interrelationships between various nutrients means that variation in one nutrient following fertilizer application will result in variation in many others. How is this to be controlled in the selection of a particular fertilizers combination for the production of optimum ratios between the various nutrient.*

R. — L'existence des diverses corrélations directes ou inverses qui ont pu être mises en évidence entre des éléments pris deux à deux n'expriment pas nécessairement qu'il existe un lien étroit. Les facteurs mis en cause pour chaque élément sont certainement multiples, tout au plus peut-on penser qu'un facteur dont l'influence est prépondérante, pourra créer une relation directe ou inverse entre la variation de deux éléments. L'intérêt principal de l'existence de ces corrélations est de permettre de supposer l'allure la plus probable de la variation d'un élément d'après celle d'un autre élément et d'inciter à définir la composition minérale d'un tissu par des rapports plutôt que par des valeurs absolues.

La reproduction fidèle et hautement significative de certaines d'entre elles au cours des années nous a incité à étudier plus spécialement le comportement de certains de ces rapports entre éléments sous l'influence des divers facteurs de variations habituelles.

Il nous a ainsi été permis d'établir que dans des « conditions normales de végétation » le rapport N/P dans les feuilles, les latex et les graines, les rapports K/P et N/K dans les feuilles et les latex, le rapport S/P dans les feuilles, Mg/P et K/Cu dans les latex s'écartaient peu de certaines valeurs bien définies, établies d'après des dizaines de milliers d'analyses et qui nous servent actuellement de « normes » pour l'établissement du « diagnostic physiologique ».

Il a été établi par ailleurs que ces valeurs s'écartaient très fortement de celles des « normes » dans des cas de déséquilibres du métabolisme minéral provoqués soit par des carences, soit par une exploitation intensive.

Si les valeurs trouvées par l'analyse minérale des feuilles et des latex correspondent après calcul de ces rapports aux « normes » établies une fois pour toutes après des années de recherche, on déduit par retour que la culture considérée végète dans des conditions « normales de végétation » et peut subir une intensification d'exploitation.

Dans le cas contraire, notre mode d'interprétation des résultats nous permet de déterminer directement la ou les causes provoquant ce déséquilibre. Généralement un simple apport d'éléments compensateurs au sol dont la formule nous est donnée par les conclusions du « diagnostic » permet de rétablir les équilibres minéraux à leurs valeurs « normales ». Ces phénomènes s'accompagnent toujours et rapidement d'une amélioration de la qualité du latex et d'une augmentation de la production.

Cette augmentation de la production ne peut dépasser sous l'effet des apports au sol, une valeur limite correspondant aux « conditions normales de végétation » déterminées pour un matériel végétal donné. Si l'on veut dépasser cette valeur limite, il faut alors stimuler les arbres et prévoir un nouvel apport d'éléments compensateurs au sol dicté par un diagnostic ultérieur.

Dr. LEYTON. — *The proposed optimum ratio of N/P 12,7-16,1 agrees so well with optimum ratio determined by many other workers with different species that it is difficult to believe this is pure coincidence. What are your views ?*

R. — Je suis d'accord avec vous sur le fait qu'il ne peut s'agir d'une pure coïncidence. Je suis heureux de constater ce fait, n'ai pas d'opinion bien arrêtée pour l'instant et possède la conviction que l'on pourra répondre à cette question dans un proche avenir.

Q. — *Do these various ratios N/P, K/Ca etc. vary as much with time of sampling, nature of sample, tree age, etc., as the absolute concentrations of the elements ?*

R. — Les valeurs des rapports N/P, N/K et K/P sont extrêmement peu influencées par les facteurs suivants : influence saisonnière, dates et heures des prélèvements, échantillonnage, âge des arbres, origine du sol (volcanique, alluvionnaire, etc...) et coordonnées géographiques des pays où sont plantés les hévéas etc... (Cf. E. R. Beaufils. Annales Agronomiques, n° 2, mars, avril 1956, p. 205, 217).

Ces valeurs sont par contre extrêmement influencées par des intensifications d'exploitation ou des carences du sol, ce qui permet justement de déterminer ces dernières.

Le rapport K/Ca par contre varie très fortement sous l'influence saisonnière, très élevé au moment de la refoliation il décroît progressivement pour atteindre des valeurs très faibles au moment de l'hivernage.

Dr. CLARK. — *This study represents a most complete report of the practical physiological interpretation. You rely not alone on leaf analysis but also upon sap and fruit analysis. Your experience seems to be extensive with the effects of soil applications and some of the physiological relationships of N, P, K mineral nutrition.*

Evidently these knowledge and experience have ruled out many of the accidental cause-effect relationships normally encountered. Finally 40.000 analysis have helped to refine from your correlations many accidentally cause-effect relationships. Have you studied the chemical status of your soils ?

R. — L'analyse des sols n'est pas effectuée de façon systématique mais uniquement dans certains cas. Ce fut surtout au début de nos recherches pour confirmer certaines carences spécialement d'origine calcique, mises en évidence par le « diagnostic physiologique ».

Soulignons que nous accordons une grande importance à la valeur en pH de nos sols exploités.

Dr HALAIS (Ile Maurice). — *Cette communication qui fait appel à l'étude du végétal dans son ensemble est remarquable car elle est susceptible de constituer un stimulant conduisant à une connaissance plus approfondie du mode d'alimentation d'autres plantes tropicales associé à une production souhaitable dont celle de la canne à sucre par exemple. C'est ainsi que nos recherches les plus récentes à l'Ile Maurice nous ont conduit à combiner le diagnostic foliaire à l'analyse de la tige ou du jus de la canne à sucre afin de trouver des rapports intraplantes qui semblent devoir mieux départager les cas frontières, partant de progresser utilement.*

Some aspects of mineral deficiencies and the chemical composition of oil palms

by H. BROESHART

Research Department, Huilever S. A., Belgian Congo

Chemical analysis of plant organs is carried out on many crops for the diagnosis of mineral deficiencies. The methods employed, however, vary considerably, especially as regards the following points :

- (i) The organ sampled and, in the case of leaf analysis, the morphological position of the leaf ;
- (ii) The time of sampling ; this is particularly relevant for tropical crops, subject to a well-defined dry season ;
- (iii) The treatment of the samples prior to analysis ;
- (iv) The criteria employed in the interpretation of the results.

To enable the results obtained by different research institutes to be compared, it is essential that the methods employed should be standardised for each crop. In the present paper the major differences in the points are discussed, with particular reference to the oil palm.

a) THE ORGAN TO BE SAMPLED.

The choice of the organ to be sampled for routine analysis should be based on the following considerations :

- 1^o The number of deficiencies of which it may give an indication ;
- 2^o For each particular deficiency, the number of elements correlated with growth and/or production, which have a level significantly different from the "normal".
- 3^o The magnitude of the difference ;
- 4^o The sampling variation ;
- 5^o The suitability for sampling of that particular organ, i. e. leaves are easier to sample than roots or stems.

These points were investigated for 31-month-old oil palms which had been grown in sand cultures for 22 months under "normal" and under N, P, K, Ca and Mg-deficient conditions respectively.

Chemical analysis, comprising K, P, Ca, Mg and ash determinations was carried out on the leaflets from all the fronds, spear leaves, rachids, petioles, inflorescences, stem and roots.

In table 1, the elements significantly different from the "normal" level are shown for each deficiency and for each particular organ.

TABLE I

Number of elements significantly different from the "normal" levels, for each deficiency and each particular organ.

Deficiency	1st leaf	All leaflets	Spear leaves	Rachids	Petioles	Stem	Inflor.	Roots
N.....	5	1	1	3	3	1	—	1
P.....	1	1	—	—	—	—	—	1
K.....	2	1	4	2	3	—	—	2
Ca.....	1	1	1	1	2	—	—	1
Mg.....	2	3	2	2	4	2	—	1

It may be seen that for general diagnostic purposes, the sample from the 1st fully-opened leaves and the petioles gave the best results. In studies of one particular deficiency, older leaves gave good indications for Ca and Mg and the spear leaves for K deficiency.

It is often maintained that the correct leaf to sample is that which is most constant in composition, i. e. with the smallest standard deviation, and young leaves are frequently considered as being very variable in this respect. This is not the case for oil palms, as may be seen from table 2, in which the standard deviations are given for K, P, Ca, Mg and ash contents of leaflets of the 1st and 9th leaves of 40 palms, sampled monthly over a period of one year.

Standard deviations of several leaf constituents for the 1st and 9th leaf (40 palms, analysed individually and sampled monthly during one year).

Element	Data as % age of dry matter			
	1st leaf	% of mean	9 th leaf	% of mean
% K.....	0.36	20 %	0.39	28 %
% P.....	0.035	17 %	0.029	15 %
% Ca.....	0.11	18 %	0.13	19 %
% Mg.....	0.077	23 %	0.085	25 %
% Ash	1.16	16 %	1.26	19 %

If bulk samples from 20-25 palms are taken, the sampling variation will be reduced to 4-6%, which is of the same magnitude as the errors in the analytical procedure.

The above findings suggest that the most suitable organ to sample for routine practice is the leaflets of the first fully-opened leaf.

b) SAMPLING TIME.

The analysis of the monthly samples of the first and ninth leaves of young and old palms, growing under identical soil conditions, revealed significant sampling time effects, as well as interactions between sampling time and age of palm and sampling time and age of leaf.

1^o When samples are taken at different seasons of the year, the differences in K, P, Ca, Mg and ash contents are highly significant.

2^o Changes in climatological conditions do not have the same effect on the chemical composition of leaves of different age from young and old palms. The fluctuations in chemical composition, particularly in respect of K and Ca contents induced by climatic conditions, are more pronounced in the 9th than in the 1st leaves. The changes in K, P, Mg and ash contents induced by changes in climatological conditions are greater in young than in old palms. It is, thus, essential to compare samples taken at identical times of the year. As deficiencies may be induced as a secondary effect of poor water conditions, dry seasons would seem to be less suitable. Moreover, several plantations in the Belgian Congo have a very short dry period, in which it is not possible to carry out sampling. It may be concluded that the rainy season should be considered as the sampling period.

c) PRE-TREATMENT OF SAMPLES.

Chapman and Gray (1944) investigated the nutrient distribution in leaflets and found lateral and longitudinal gradients in the concentrations of the several elements. As a consequence, the part of the leaflets to be taken for analysis should be well defined; some investigators prefer to remove the edges of the leaflets prior to analysis. No data have been published on the significance of such treatment and it does not seem likely that the sampling variation will be reduced to any important extent.

In the present investigation, the central part of the leaflets, from which the mid rib was previously removed, was used for analysis.

d) INTERPRETATION OF FOLIAR ANALYSIS DATA.

Most divergence of opinion in chemical plant analysis concerns the interpretation of the data. The classical method of establishing critical levels, or interpretations based on the ratios between two or more elements were found to give erroneous results in the case of the oil palm. From the results of a large number of fertiliser experiments and from a sand sculture experiment, it was found that :

Nitrogen deficiency is accompanied by a decrease of the N content and an increase of the P, Ca, Mg and ash contents. Later, the P and Mg contents decrease to a level, slightly above normal. The K content, expressed as a % of ash, decreases.

Phosphorus deficiency caused a decrease in P content but there is, later, an increase to a level, slightly above normal. The Ca content decreases and remains low, and the same trend was observed for the Mg and ash contents.

Potassium deficiency may be recognised by the decrease in K and ash contents. In the first stage of the deficiency, the P, Ca and Mg contents increase but, later, the P and Ca contents decrease, whereas the Mg content remains high.

Calcium deficiency is characterised by a decrease in Ca and P contents. Later, the K and ash contents decrease to slightly below normal.

Magnesium deficiency results in a decrease in the Mg content and an increase in either K or Ca, and ash contents.

It will be evident that a low content of a particular element in the leaf does not necessarily mean that it is deficient. On the other hand, a medium to normal concentration of an element is no guarantee that it is not seriously deficient. In this respect the use of critical levels for diagnostic purposes may lead to an entirely wrong interpretation, as it implies that the level of one single element only is considered.

When the elements were expressed as a % of the sum of K + Ca + Mg, and plotted in triangular diagrams, it was found that the first stages of N deficiency are almost identical with K deficiency, whilst the latter stages of N deficiency would be interpreted as a "normal" leaf composition. When P is deficient, the ratios between K, Ca and Mg may be similar to those for normal or Ca or Mg deficient palms; a high K/P ratio, may be caused by P deficiency, but equally well by Mg or Ca deficiency. The presentation of the data in triangular diagrams or as ratios between two elements does not, therefore, provide a sound basis for the diagnosis of deficiencies, despite the fact that, under local conditions, highly significant correlations may be found between these ratios and the production of palms.

The results of the present investigations and those of the I. R. H. O. workers in French Equatorial Africa have shown that there appears to be a "normal" or "optimal" leaf composition. Palms with an adequate supply of plant nutrients, whether growing in a light sand, a heavy clay soil or a culture solution, have this "normal" leaf composition. It is not dependent on soil type and is identical for young and old palms. The expression "optimal" or "normal" composition is used to indicate the chemical composition of leaves of oil palms, having regional maximal growth and/or production. The "normal" composition of the leaflets of the youngest-fully-opened leaf is approximately as follows :

K.	1.7	—	1.9	% of dry matter
Ca.	0.55	—	0.65	%
Mg.	0.25	—	0.35	%
P.	0.21	—	0.23	%

It may be concluded that a satisfactory basis for the diagnosis of deficiencies from foliar analysis data is afforded by the recognition of the characteristic deviations from the "normal" leaf composition of the contents of *all* the elements in the leaf tissue. Table 3 shows these characteristic deviations for two different stages of each deficiency.

TABLE 3
Deviations from the normal leaf composition for various deficiencies

Deficiency	Stage	% N	% P	% K	% Ca	% Mg	% ash
Nitrogen	1st	—	+	o	+	+	+
	2nd	—	o	o	+	o	+
Phosphorus	1st	o	—	o	—	—	o
	2nd	o	o	o	—	—	—
Potassium	1st	o	+	—	+	+	—
	2nd	o	o	—	o	+	—
Calcium	1st	o	—	o	—	o	+
	2nd	—	—	o	—	o	—
Magnesium	1 stage only	o	o	o (+)	+ (o)	—	+

o = normal level.

+= higher than normal.

—= lower than normal.

Although only 5 major elements have been considered in this work it should be emphasized that a completely correct interpretation would have to take into account the contents of minor elements as well. Evidence from fertilizer experiments has shown that minor element deficiencies may change the concentration of major elements in the leaves.

REFERENCES

- CHAPMAN, G. W. and GRAY, N. M. 1944. Leaf Analysis and the Nutrition of the Oil Palm. Annals of Botany, N. S., vol. XIII, n° 52, october.
- PREVOT, P. et OLLAGNIER, M. 1951. Application du Diagnostic Foliaire à l'Arachide. Oléagineux, VI, n° 6.
- PREVOT, P. 1953. Engrais minéraux et Oléagineux tropicaux. Oléagineux, XIII, n° 12.
- SCHEIDECKER, D. et PREVOT, P. 1954. Nutrition minérale du Palmier à Huile à Pobé (Dahomey). Oléagineux, IX, n° 1.

Acknowledgements.

The author is indebted to Huilever S. A., for permission to publish this work.

DISCUSSION

MULLER (Royal Tropical Inst. Amsterdam). — *For most of the tropical crops, the fruit are the most important part of the plant.*

As I understood, in his communication M. Broeshart has given correlation between foliar analysis and growth. Is there a correlation between foliar diagnosis and yields of oil ?

R. — I have not given any correlations between growth and leaf analysis data in my communication. The object of my paper was to show the changes in chemical composition in mineral deficient oil palms. However, in answer to your question, we have obtained correlations between both yield and growth and leaf analysis data for fertiliser experiments and plantations in the Belgian Congo. This work has been published.

MOLLE (Congo Belge). — *S'agissait-il de cultures sur sable pur ou bien, le palmier a-t-il eu en cours d'expérience une alimentation complète ? Vous avez utilisé des milieux comprenant une carence en un des éléments. Vos résultats ont dû être très éloignés de la croissance normale du palmier. Ce sont donc des résultats difficiles à relier à des palmiers sains.*

R. — Au début nous avons donné une solution nutritive complète et c'est seulement après quelques mois que les traitements carencés ont commencé. Notre essai demandait des palmiers carencés en un élément particulier et ces carences devaient être décelables à l'analyse et si possible à l'aspect de la plante. Nous avons obtenu pour plusieurs carences des palmiers présentant des symptômes caractéristiques tout en ayant une croissance normale.

MOLLE (Congo Belge). — *Avez-vous utilisé le poids sec moyen des plantes ?*

R. — Nous avons fait toutes les observations possibles, y compris le poids sec ; cependant, nous n'avons pas utilisé ces résultats pour l'interprétation des chiffres de l'analyse foliaire.

MOLLE (Congo Belge). — *Dans le cas des milieux sans Ca, laousse ne m'étonne pas, car la réserve des plantules est suffisante pour assurer la croissance pendant un temps assez long. D'autre part, l'eau d'arrosage en Afrique apporte Ca en quantité non négligeable.*

R. — Nous avons l'impression que le Ca se comporte dans le palmier comme un oligo-élément parce que les niveaux de Ca dans tous les organes de palmier du traitement sans Ca, étaient extrêmement bas. Nous n'avons jamais eu réponse au Ca, ni sur la croissance, ni sur la production dans nos essais d'engrais au Congo Belge.

M. BEAUFILS. — *Estimez-vous que les conclusions que l'on peut tirer sur la nutrition minérale d'une plante à partir des essais en pots puissent s'appliquer par extrapolation à des cultures adultes soumises à un effort de production ?*

Ainsi, pour la plupart des plantes, y compris l'hévéa, les conclusions tirées d'essais en pots laisseraient supposer que certains éléments minéraux, tels que le calcium, n'ont qu'une importance très limitée dans le cadre du métabolisme minéral ; ceci est absolument erroné si l'on considère des plantes adultes. Par exemple, en ce qui concerne l'hévéa, il nous a été possible de démontrer que, dans certaines conditions, la production en caoutchouc était commandée directement par l'amplitude de l'assimilation calcique.

R. — Non ; on ne peut pas extraire des résultats d'un essai en pots pour les appliquer à des cultures adultes avant d'avoir confirmé que la composition des

feuilles du traitement complet correspond avec la composition « Normale ». La composition « Normale » doit être établie par l'analyse des meilleurs champs d'essais d'engrais et des meilleurs blocs de plantation, situés sur des types de sol différents. Nous avons voulu déterminer des déviations caractéristiques de la composition « Normale » pour chaque carence et avions besoin de palmiers carencés en un élément. Nous n'avons pas estimé l'importance relative de chaque élément pour la croissance et la production en nous basant sur les observations d'un essai en pots. Ceci constitue un problème tout à fait différent que seules des expériences d'engrais peuvent résoudre. Je suis d'accord avec votre remarque concernant le Ca, nous avons remarqué la même chose pour le P chez le palmier : peu d'influence du P sur la croissance mais beaucoup sur la production.

Dr WORMER (I. R. H. O., France). — *L'absence de Ca dans les échantillons des folioles de palmier et le manque de corrélation entre l'absence de Ca d'une part et la croissance et la production d'autre part pourraient s'expliquer comme suit : les folioles de palmier contiennent beaucoup de Ca sous forme d'aiguilles d'oxalate de Ca. L'absence ou la présence de ces aiguilles n'aura pas d'influence sur le métabolisme du palmier.*

Est-ce que M. Broeshart a fait des observations anatomiques sur les plantes de ses objets ?

En général, il faut savoir la forme sous laquelle se présentent les éléments que l'on mesure pour que les rapports, les niveaux, les différences entre les diverses parties de la plante, du point de vue teneur en éléments, aient une valeur.

R. — Je sais qu'il y a beaucoup de cristaux d'oxalate de calcium dans les folioles du palmier qui probablement n'ont aucune influence sur son métabolisme.

Résultats obtenus grâce au diagnostic foliaire

par J. F. LÉVY

Institut technique du Vin, Montpellier, France

L'application de la méthode du diagnostic foliaire à la détermination de ses besoins en éléments fertilisants, a été exposée lors du colloque de 1954.

Nous nous proposons aujourd'hui, de montrer les résultats pratiques auxquels peut conduire le contrôle de l'alimentation par diagnostic foliaire, en insistant sur la délicatesse de l'interprétation et la nécessité d'une connaissance approfondie des effets que peuvent avoir les divers facteurs qui conditionnent l'alimentation de la plante.

Quelques exemples illustreront les influences diverses qui peuvent jouer en sens opposé et faire qu'un même phénomène peut se traduire différemment suivant les circonstances, ou que des causes contraires peuvent parfois produire un effet apparemment identique.

DIAGNOSTIC FOLIAIRE ET RÉSULTATS CULTURAUX

Une conception simpliste de la physiologie végétale pourrait laisser supposer qu'à un rendement élevé doit correspondre obligatoirement un bon équilibre physiologique et inversement. En réalité, telle n'est la règle que dans la mesure où la production ne dépasse pas un certain niveau critique qui est propre à chaque vignoble et au delà duquel la relation s'inverse parce que les ressources alimentaires de la vigne deviennent insuffisantes pour faire face aux besoins. Une production excessive se traduit alors par une baisse du taux de potasse dans les feuilles, qui se trouvent « vidées » de cet élément, parce que, comme dans le tube piézométrique auquel M. Maume compare volontiers la feuille, il se produit une sorte de dépression que Lagatu et Maume avaient déjà mise en évidence au vignoble de Grammont, où ils avaient observé une baisse du niveau de potasse consécutive à des tailles trop généreuses.

Prenons, par exemple, le cas d'une vigne située à Tour-en-Sologne (41-5). Le rendement, qui était de quatre-vingts hectolitres à l'hectare en 1953, est passé à cent hectolitres en 1954. La teneur moyenne des feuilles en potasse a simultanément passé de 1,06 à 1,26 et la brunissure a notablement régressé. La richesse alcoolique du vin s'est maintenue à 10°.

L'augmentation de production dans ce cas a été parallèle à l'amélioration de l'alimentation, et nous en déduisons qu'une fumure adéquate a permis d'obtenir ce résultat sans préjudice pour la qualité du produit ni pour la longévité de la vigne.

Prenons, au contraire, le cas d'un autre vignoble du Loir-et-Cher, à Saint-Georges-sur-Cher (41-3) ? Il a eu en 1953, un rendement de soixante-dix hectolitres à l'hectare, et une teneur moyenne de feuille en potasse satisfaisante pour un vignoble de grande production (moyenne 1,55). En 1954, le rendement a passé à cent dix hectolitres à l'hectare, le vin n'a titré que 9° et la teneur moyenne des feuilles en potasse n'a été que de 0,85, c'est-à-dire médiocre. Ici, l'augmentation de production s'est accompagnée d'une détérioration de l'équilibre, et nous en concluons que le rendement critique s'est trouvé dépassé, la production étant excessive pour les ressources alimentaires dont dispose cette vigne. Nous conseillons alors, non seulement d'accroître ces ressources par une fumure appropriée, mais de modérer la production par une taille plus sévère, de façon à ne pas épuiser prématurément la plante, et à améliorer la qualité (qui est directement liée à l'équilibre).

De tels cas se présentent fréquemment, surtout parmi les vignobles à haut rendement, dont quelques-unes seulement ont des alimentations proportionnées à leurs besoins. On voit donc que si le diagnostic foliaire contribue à relever le rendement des vignes déficientes, ce ne saurait être que dans la mesure compatible avec le bon équilibre de la plante, donc avec la qualité du produit et la longévité de la vigne.

LA BRUNISSURE ET LA COULURE

Si le Diagnostic Foliaire permet de déceler un déséquilibre non encore apparent, il met plus facilement encore en évidence les troubles alimentaires qui se manifestent par des symptômes visibles, comme la brunissure et la coulure.

Il est inutile de revenir sur la première, dont on connaît suffisamment les relations avec la carence potassique dans la plupart des cas. Il suffira donc de signaler que des teneurs moyennes en potasse inférieures à 0,90 % correspondent très souvent à des vignes brunies. (La brunissure s'observe même jusqu'à 1,1 % sur des vignobles à haute production).

Par contre, la coulure mérite une attention plus grande, car sa physiologie est moins bien connue. On savait depuis longtemps qu'un excès d'azote était fréquemment cause de coulure. Mais le diagnostic foliaire vient préciser cette notion en lui donnant une expression numérique et graphique.

Nous avons en effet constaté, à la suite de Lagatu et Maume, que la courbe d'évolution de l'azote dans les vignes coulardes est particulièrement caractéristique. En voici un exemple pris sur une vigne de Sainte-Cécile-

du-Cayrou, dans le Tarn (81-5). La teneur des feuilles en azote est de 3,70 au début de la floraison et de 2,93 à la fin floraison, alors que les teneurs normales sont respectivement de 3,20 et 2,75. On voit que l'alimentation azotée est, pendant toute la floraison nettement supérieure à la norme. Elle marque ensuite une chute et tombe légèrement au-dessous de la courbe de référence (fig. 1).

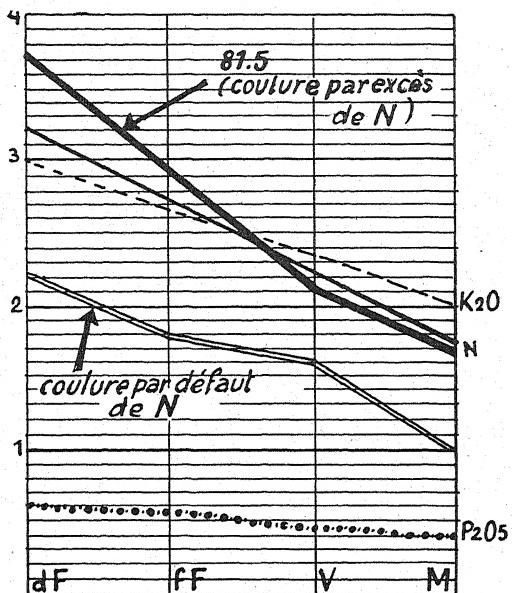


FIG. 1. — Alimentation azotée de deux vignes coulardes souffrant l'une d'un excès, l'autre d'une carence d'azote.

située à 66 % seulement du niveau normal. Un conseiller qui se fierait aux apparences aurait ici diagnostiqué un trouble exactement inverse de celui que le test foliaire a révélé, car seul le contrôle biochimique pouvait déceler laquelle des deux causes possibles de coulure (excès ou carence d'azote) était à incriminer.

On peut donc conclure cet aperçu des relations entre le diagnostic foliaire et les résultats culturaux, en disant que le diagnostic foliaire reflète toujours les déséquilibres physiologiques de la plante, qu'ils se manifestent ou non par des signes visibles. Lorsque ces signes existent, ils corroborent le diagnostic ; mais lorsqu'ils font défaut — ce qui est le cas le plus fréquent — le diagnostic foliaire permet de déceler les carences ou les excès avant qu'ils n'aient atteint le degré de gravité où leurs effets deviennent apparents et sont beaucoup plus difficiles à combattre.

On peut dire que, dans plus de neuf cas de coulure sur dix, on trouve une courbe ayant cette allure, et que, réciproquement, chaque fois que la courbe d'azote se présente ainsi, il y a coulure à un degré plus ou moins marqué. Nous conseillons alors d'éviter l'emploi d'engrais azotés à action brutale, parfois même de la supprimer totalement pendant un ou deux ans.

Cependant, nous avons observé dans quelques cas — par exemple à Lagrasse, dans l'Aude (11-96) — que la coulure était au contraire due à une alimentation azotée extrêmement déficiente, se traduisant par une courbe

LE DÉPLACEMENT DU POINT D'ÉQUILIBRE

La position du point représentatif de l'équilibre d'une vigne sur le diagramme trilinéaire permet, on l'a vu plus haut, de se rendre compte de la nature et de l'importance des besoins de la vigne en éléments nutritifs.

Mais il ne suffit point de déterminer les carences, ni même d'indiquer les mesures à prendre pour y remédier. Encore faut-il s'assurer au cours des années suivantes que ces mesures ont bien été efficaces, et les modifier si besoin est.

C'est pourquoi il importe que le diagnostic foliaire soit poursuivi pendant plusieurs années consécutives, de façon à contrôler le déplacement du point d'équilibre d'année en année, et à obtenir qu'il se rapproche de l'optimum.

En effet, certaines conditions particulières peuvent empêcher la fumure de produire les résultats attendus (sécheresse, mauvaise époque d'épandage, richesse du sol en colloïdes, etc...). Il faut alors tenir compte de ces facteurs et modifier la fumure appliquée jusqu'à ce que le diagnostic foliaire tende à une amélioration durable.

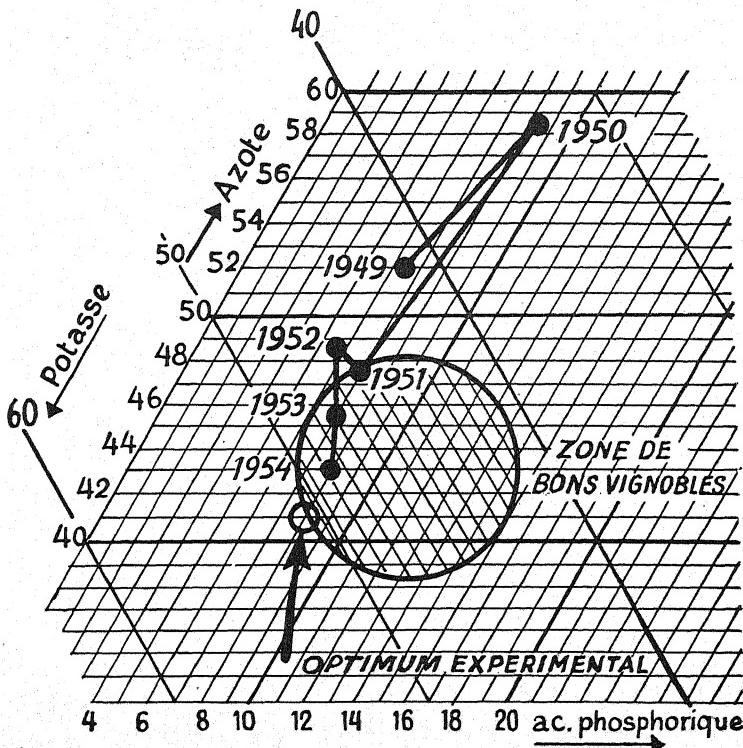


FIG. 2. — Evolution entre 1949 et 1954 de l'équilibre alimentaire du vignoble pilote de la D. S. A. du Gard, à Vauvert-Gallian.

Il faut parfois assez longtemps avant que ne s'amorce le déplacement du point d'équilibre, en particulier lorsque le sol est très argileux et a, de ce fait, la propriété de retenir énergiquement par adsorption des quantités élevées de potasse. On doit alors appliquer pendant plusieurs années des doses massives pour obtenir la saturation des colloïdes, avant que la plante puisse pleinement bénéficier des fumures appliquées.

Pour la vigne, le diagnostic est toujours poursuivi au moins 3 ans, de façon à permettre de déterminer le niveau moyen de l'alimentation des vignobles étudiés. Un seul diagnostic annuel donnerait souvent une idée tout à fait erronée de ce niveau, qui peut varier notamment d'une année à l'autre suivant les conditions météorologiques, surtout dans les régions où celles-ci sont très irrégulières.

Aussi, les conseils de fumure donnés la première et la deuxième année n'ont-ils qu'un caractère provisoire, et c'est au bout de trois ans seulement que sont tirées les conclusions générales de l'étude et qu'est indiquée la formule de la fumure qui devra ensuite être utilisée chaque année. Après quelques années d'application de cette fumure, on fera à nouveau un diagnostic annuel de contrôle pour constater les progrès accomplis et, le cas échéant, réduire la formule de redressement à une simple formule d'entretien.

Le contrôle ultérieur de l'effet des fumures déterminées par Diagnostic Foliaire permet fréquemment de mettre en évidence des déplacements spectaculaires du point d'équilibre. C'est ainsi que le diagramme de la figure 2 montre l'évolution de l'équilibre alimentaire du vignoble pilote de la Direction des Services Agricoles du Gard, à Vauvert-Gallician, de 1949 à 1954 : à part un recul accidentel en 1950, l'amélioration a été constante et a permis à la production de passer de 2 kilos par pied (10^08) à 2,7 kilos par pied (11^05).

L'OPTIMUM RENTABLE

Beaucoup de vignobles, surtout ceux de grande production, ont un équilibre alimentaire dont le point représentatif moyen est assez éloigné de l'optimum expérimental. Ce point est le plus souvent décalé vers le haut et à droite, c'est-à-dire dans le sens d'un manque relatif plus ou moins important de potasse (mais il arrive également qu'il soit déporté vers la gauche, ce qui traduit un manque relatif d'acide phosphorique, ou vers le bas, ce qui traduit un manque relatif d'azote).

On cherche alors, grâce à des fumures appropriées, à rapprocher progressivement ce point de l'optimum, comme dans le cas du vignoble mentionné au chapitre précédent. Mais s'il est possible, dans certains terrains et certaines conditions, d'obtenir assez facilement et rapidement ce déplacement, il y a par contre des vignobles dont l'équilibre alimentaire est très difficile et long à modifier, en particulier les vignobles adultes établis sur des terrains lourds et pauvres en matière organique.

Il serait alors très coûteux d'appliquer chaque année des fumures massives jusqu'à l'obtention complète du redressement visé, et bien souvent la dépense d'engrais nécessitée par ce redressement serait hors de proportion avec l'amélioration quantitative ou qualitative de la production qui en résulterait. C'est pourquoi on a été amené à définir un optimum rentable distinct de l'optimum expérimental et défini par les teneurs moyennes suivantes :

Azote	2,5
Acide phosphorique	0,5
Potasse	1,75

donnant, par rapport à leur somme, les proportions suivantes :

Azote	52,5
Acide phosphorique	10,5
Potasse	37,0
Total	100,0

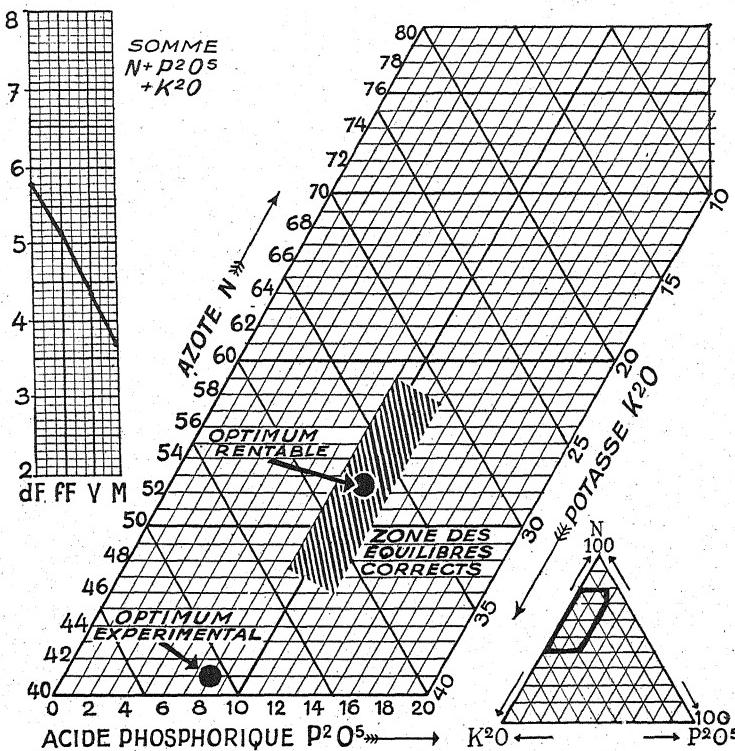


FIG. 3. — L'optimum rentable et la zone des équilibres corrects pour vignobles de grande production.

Autour du point représentatif de cet équilibre, on a pu définir une zone des équilibres corrects, correspondant à des variations de 10 % en plus ou en moins par rapport aux chiffres ci-dessus (fig. 3).

On peut dire que pour la majorité des vignobles, surtout pour les vignobles de grande production, les fumures nécessaires pour dépasser l'optimum rentable en direction de l'optimum expérimental seraient trop coûteuses, et que c'est donc l'optimum rentable qui constitue le but vers lequel les fumures doivent tendre à déplacer le point représentatif des vignes contrôlées.

Ce point n'a certes pas une valeur absolue, et il est possible de définir pour chaque région et chaque mode de culture un équilibre-type plus rigoureusement applicable à des conditions déterminées. Ce travail a, du reste, été entrepris par les chercheurs de différentes régions, et il est possible dès

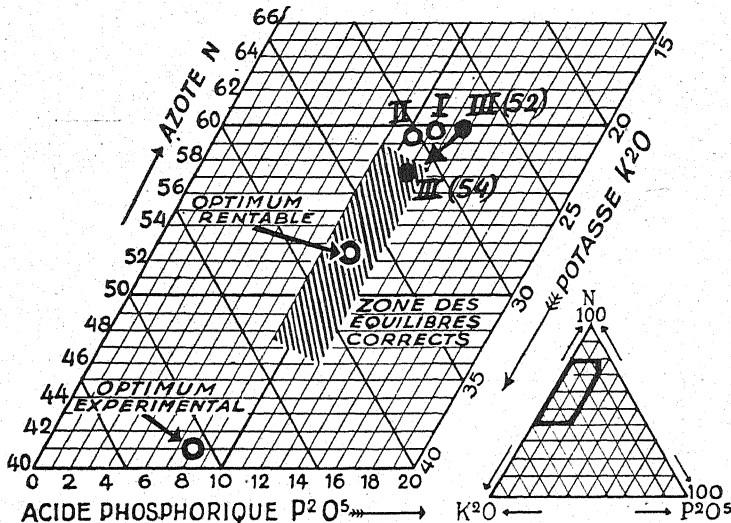


FIG. 4. — Déplacement moyen, après 3 ans de fumure, de l'équilibre des vignes soumises au diagnostic foliaire. La comparaison de l'équilibre moyen pour 1954 des vignes fumées rationnellement (cercle noir) avec celui des vignes mal fumées (cercle blanc) montre que l'amélioration de l'alimentation tient bien à la fumure et non à une année favorable.

maintenant de conclure des résultats obtenus que les différences qui peuvent exister entre les normes applicables aux diverses régions ou aux diverses variétés sont toujours relativement faibles. Le point de référence et la zone, définis ci-dessus, peuvent ainsi être valablement utilisés comme base générale d'appréciation des équilibres alimentaires de toutes les vignes contrôlées.

Si, par exemple, on porte sur un même graphique l'optimum rentable, la zone des équilibres corrects et le point représentatif de l'équilibre correspondant à la moyenne des résultats donnés par tous les vignobles contrôlés en 1952, on voit que ce point se place légèrement en dehors de la zone des équilibres corrects. Par contre, le point représentatif de l'équilibre correspondant à la moyenne des résultats donnés par les mêmes vigno-

bles en 1954, soit après deux ans de fumure dirigée suivant les indications tirées du diagnostic foliaire s'est nettement rapproché de l'optimum rentable et se trouve à l'intérieur de la zone des équilibres corrects.

Ce déplacement n'est pas le résultat de circonstances plus favorables en 1954 qu'en 1952, car en 1954 les vignobles qui n'avaient pas été fumés rationnellement ont donné un point représentatif moyen sensiblement identique à celui de 1952 (fig. 4). La représentation graphique permet donc de mettre en évidence l'efficacité des fumures prescrites sur l'ensemble des vignes soumises au diagnostic foliaire.

LE CONTROLE DES ESSAIS DE FUMURE

Si le diagnostic foliaire rend de grands services pour déterminer la fumure la plus économique et la plus productive pour chaque vignoble, il est peut-être plus précieux encore comme méthode de contrôle des essais de fumure, car il permet de comprendre pourquoi et comment la vigne réagit ou ne réagit pas aux variations des facteurs qui conditionnent son alimentation, notamment l'application d'engrais.

C'est ainsi que de nombreux vignobles d'essais de fumure, établis dans toutes les régions viticoles par les Directions des Services Agricoles et soumis pendant plusieurs années au contrôle biochimique de M. le Pro-

- *Moyenne des terrains les plus calcaires*
- *Moyenne des terrains les plus argileux*

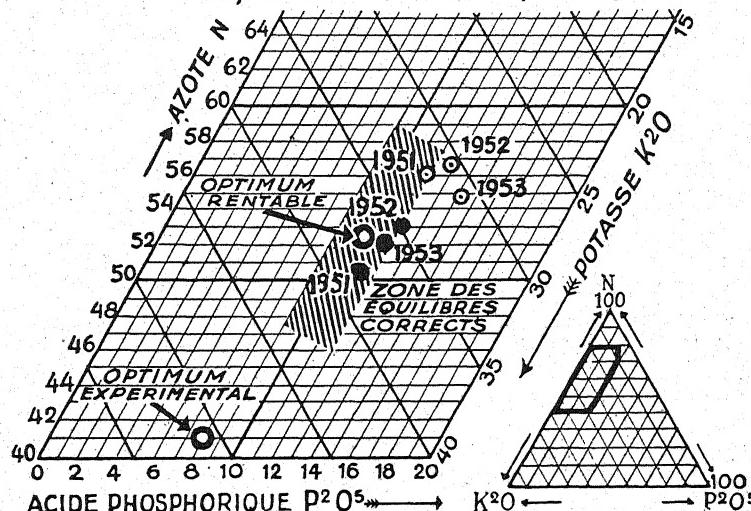


FIG. 5. — Equilibres moyens comparés des vignes établies sur terrain calcaire d'une part, sur terrain très argileux d'autre part. On voit que les terrains argileux donnent toujours des alimentations moins bien équilibrées, l'alimentation potassique étant plus déficiente par suite de l'effet rétensif des colloïdes argileux.

fesseur Maume, ont permis à celui-ci de déterminer les raisons pour lesquelles les engrais « marquaient » ou « ne marquaient pas » dans tel ou tel milieu.

Ces contrôles ont notamment mis en lumière l'effet de rétention des colloïdes argileux du sol à l'égard des engrais potassiques, ainsi que l'effet favorable de la matière organique, qui facilite au contraire leur absorption. De tels phénomènes sont aujourd'hui classiques, et l'on connaît de nombreux exemples de vignes établies sur des terrains argileux et réagissant avec beaucoup de lenteur et de difficulté aux engrais potassiques, même lorsqu'elles présentent une alimentation fortement déséquilibrée par manque de potasse. C'est ainsi que le champ d'expérience de Mauguio, duquel le professeur Maume tira la matière d'une grande partie de ses travaux, et qu'il contrôla de 1928 à 1938, reçut pendant plusieurs années des fumures potassiques copieuses sans que cela se répercute sur sa production ni son équilibre alimentaire. Ce n'est qu'au bout de plusieurs années que l'on arriva à saturer l'argile et à améliorer les résultats analytiques et cultureaux.

Au contraire, les vignobles établis, sur des terrains pauvres en colloïdes (par exemple des sols sablonneux ou des sols très calcaires, ont généralement une alimentation mieux équilibrée, les disponibilités du sol en éléments minéraux y étant exploitées par les racines avec un bien meilleur rendement par suite de leur plus grande mobilité.

Le diagnostic foliaire a permis d'illustrer l'effet rétentif de l'argile d'une façon particulièrement nette en Champagne, où les vignes établies sur sol très calcaire ont régulièrement des équilibres alimentaires meilleurs que les vignes établies sur sol peu calcaire et plus argileux (fig. 5). Cet exemple montre bien la nécessité de connaître la structure du sol pour interpréter valablement le diagnostic foliaire d'une vigne et justifie les analyses physiques du sol qui sont pratiquées systématiquement sur les vignobles contrôlés par diagnostic foliaire.

Quant à l'action favorable de la présence de matière organique sur l'absorption des éléments minéraux, notamment de la potasse, elle est aujourd'hui unanimement reconnue et nous n'en citerons pour exemple que le vignoble d'essais de fumures organisés par la Direction des Services Agricoles du Gers (N° 32-D. S. A.-r), dont les résultats en 1955 sont donnés au tableau suivant et sont représentés graphiquement à la figure 6.

Fumures	Alimentation potassique en % de la référence Maume	Rendement sur 100 pieds (en degrés-kilos)
Témoin	28	4.620
N. P. K. minéral	56	4.800
Marc seul.....	60	5.060
Fumier + potasse	77	5.820

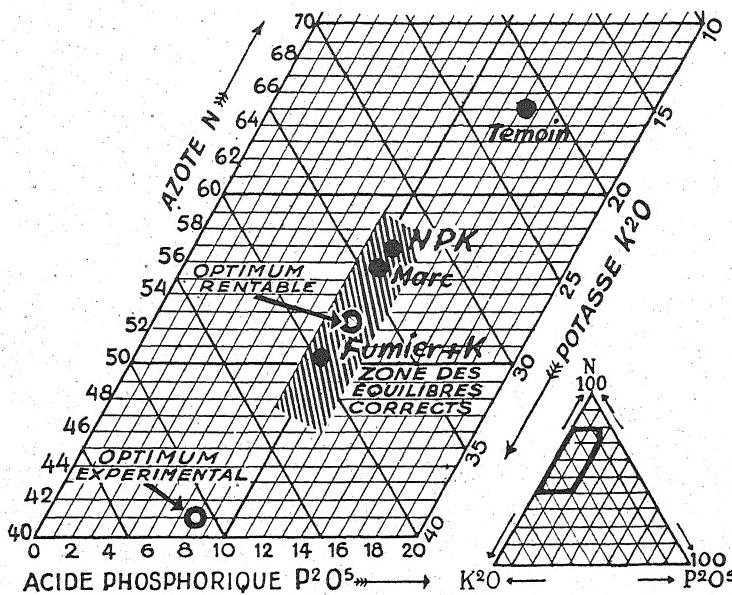


FIG. 6. — Essai de fumure organisé par la D. S. A. du Gers, à Maupas, et illustrant l'effet favorable de la matière organique sur l'absorption de la potasse.

La concordance des résultats culturaux avec ceux du diagnostic foliaire est ici particulièrement remarquable et illustre bien l'effet que peut avoir l'alimentation potassique sur la production d'une vigne, ainsi que l'influence de la matière organique sur l'absorption de la potasse.

On comprend, à la lumière de ces exemples, que le diagnostic foliaire soit de plus en plus utilisé pour le contrôle d'essais de fumures, dont les résultats culturaux ne pourraient être interprétés ni exploités pratiquement sans connaître le processus d'absorption des éléments nutritifs.

DISCUSSION

M. BOUCHOU (Paris). — *M. Lévy a-t-il observé une influence de l'alimentation minérale de la vigne sur l'incidence des maladies cryptogamiques (oïdium, mildiou). Dans les parcelles d'expériences avec alimentation minérale, l'oïdium est-il moins fréquent que dans d'autres parcelles moins bien alimentées ?*

R. — Nous n'avons pas fait d'observations systématiques dans ce sens. Toutefois, certains viticulteurs nous ont signalé une résistance accrue de leurs vignes aux maladies cryptogamiques depuis qu'elles étaient fumées rationnellement.

M. DELMAS (Gironde). — *Localisation des engrains. Peut-on vraiment obtenir augmentation par n'importe quel moyen d'apport ? J'en doute.*

R. — Il est certain que la localisation des engrains a une grande importance. Malheureusement, il est impossible d'imposer aux viticulteurs des modes d'épan-

dage coûteux ou simplement nouveaux pour eux. On ne peut que donner des conseils, que certains suivent et d'autres non !

M. FERRAND. — *Au sujet de la coulure provoquée par manque ou excès d'azote je me demande si l'équilibre entre N et P ou autres éléments n'est pas au moins aussi important que la quantité absolue de N. M^r Lévy répond que dans les cas envisagés, les différences de teneur en N avec l'optimum sont très grandes, mais reconnaît-il que ces rapports sont certainement importants ?*

R. — Je suis tout à fait d'accord avec M. Ferrand et c'est sans aucun doute les rapports N/P et N/K qu'il faut prendre en considération dans la plupart des cas. Cependant, dans le cas de la coulure de la vigne, la variation de l'azote en valeur absolue est déjà si parlante qu'il est inutile de recourir à l'expression par ces rapports, qui sont moins faciles à représenter correctement que la simple évolution des teneurs dans le temps.

M. ROCHAIX (Berne). — a) *Quelle est l'importance relative des vignes sur terrain sableux, d'une part, et sur terrain argileux d'autre part, qui ont fait l'objet de l'essai ?*

R. — La vigne est surtout cultivée dans des terrains argilo-calcaires, mais elle s'accommode de presque tous les types de sol et nous en avons étudié sur les terrains les plus divers.

M. ROCHAIX (Berne). — b) *Quelle est l'influence du cépage sur la variabilité des expériences faites ?*

R. — L'influence spécifique du cépage est faible et c'est surtout le niveau de production qui doit être pris en considération. Nous établissons une discrimination entre les cépages nobles et les cépages productifs.

JOLIVET (Station agronomique de Quimper). — *Dans la communication de M. Lévy il est dit que les prélèvements ont lieu à 4 stades différents et pas nécessairement sur les mêmes souches.*

Ces souches n'ayant pas à ma connaissance le même génotype, je serais désireux de savoir si, au point de vue scientifique, une étude a été faite sur l'influence du génome de diverses vignes, placées dans les mêmes conditions, sur l'absorption des éléments minéraux par ces plantes.

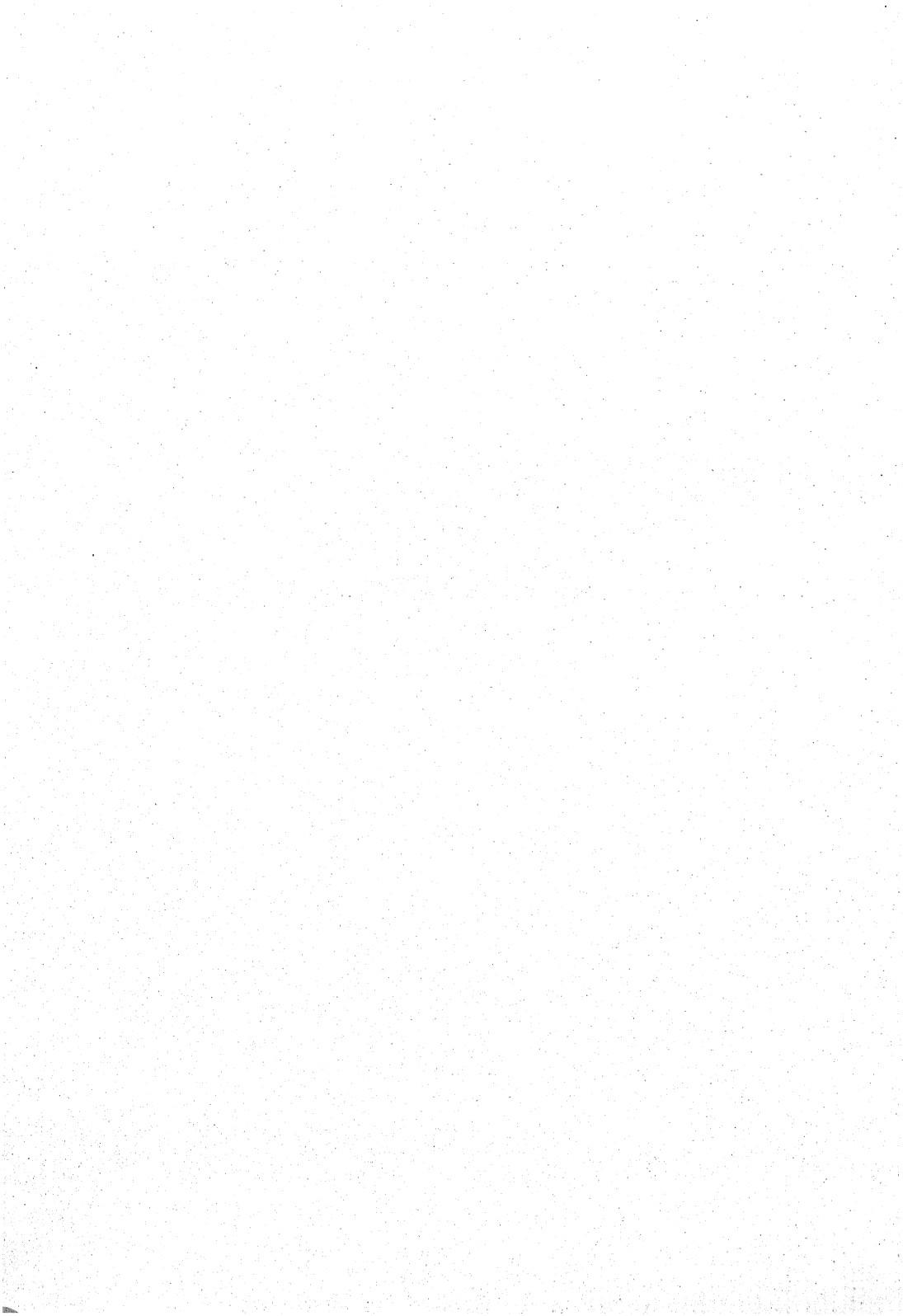
R. — Ainsi que je l'ai déjà indiqué, notre laboratoire n'est pas un laboratoire de recherches et nous ne faisons que l'application du Diagnostic foliaire dans le but de donner des conseils de fumure aux viticulteurs qui nous consultent. Il faut bien nous contenter, pour des raisons pratiques, d'un échantillonnage moyen pour chaque parcelle. D'ailleurs, l'expérience a montré que la réalisation d'un échantillon moyen représentatif est assez aisée dans le cas d'un vignoble apparemment homogène, car les écarts de rangée à rangée sont insignifiants. Il va de soi que dans le cas d'un vignoble non homogène, le diagnostic foliaire devient pratiquement inapplicable, de même que toute autre méthode. L'analyse du sol, en particulier, présente des difficultés plus grandes encore que celle des végétaux pour la réalisation d'échantillons moyens représentatifs.

CLARK (U. S. A.). — *Has Prof. Maume confined his work to one region in France ?*

R. — Since 1945 the work has been extended to all grape growing areas of France and Northern Africa.

V^e PARTIE

CULTURES ANNUELLES



Note sur le mode de prélèvement des échantillons de feuilles de riz en vue du diagnostic foliaire

Mlle J. BELEY

Centre Technique d'agriculture Tropicale, Nogent, France

Selon la définition de MM. Lagatu et Maume, le diagnostic foliaire « désigne à un instant donné l'état chimique, à l'instant considéré, d'une feuille prise en un emplacement convenablement choisi ».

Toute la rentabilité de cette technique est cristallisée autour des derniers termes de la propre phrase des auteurs et c'est le choix du prélèvement qui a été la première et la principale préoccupation de tous ceux qui ont suivi la nutrition minérale des plantes par la méthode du diagnostic foliaire.

Les premiers travaux effectués sur le riz par le Professeur Maume remontent aux environs de 1950. En se basant sur les observations faites antérieurement sur le blé, M. Maume a pu constater que le riz ne se comportait pas différemment du blé et le choix de la feuille à analyser s'est porté sur « l'ensemble des deuxièmes et troisièmes feuilles sous l'épi prises à la floraison ».

En 1953, des essais de fertilisation de riz ont été entrepris à la Station du Lac Alaotra à Madagascar et ont fait l'objet d'un contrôle biochimique de la nutrition foliaire. Les auteurs, MM. P. Roche et J. Velly, ont choisi pour les prélèvements la feuille se trouvant juste au-dessous de l'épi au moment de la floraison, autrement dit, la feuille paniculaire.

En 1955, M.M. L. Maume et J. Dulac ont obtenu la confirmation de leurs premières observations, à savoir que « à l'exemple du blé, la première feuille sous l'épi n'est pas prélevée car elle n'a pas encore atteint tout à fait son développement complet. Par contre, on peut, sans changer l'interprétation agronomique, analyser l'ensemble des deuxièmes et troisièmes feuilles ».

L'examen comparatif des teneurs trouvées pour la première feuille d'une part et pour l'ensemble des deuxièmes et troisièmes feuilles d'autre part toutes prélevées sur tiges principales, montre que, d'une façon très générale, les échantillons des deuxièmes et troisièmes feuilles sont plus riches en azote, en potasse, en calcium et en magnésium, mais sont par contre moins riches en phosphore.

Il apparaissait donc intéressant de pouvoir vérifier si ce fait se confirmait pour du riz cultivé dans d'autres conditions. L'occasion de le faire se présenta à nous l'année dernière à la suite d'une demande d'analyses pour des essais de fumure de riz à suivre par la méthode du diagnostic foliaire à la Station Agronomique de Loudima, en A. E. F. Il s'agit, par conséquent, ici de riz de montagne, de la variété Yangambi, cultivé en culture sèche sur sol schisto-calcaire.

Les deux modes de prélèvement ont été adoptés pour les 48 échantillons correspondant à un essai de fumure NPKMg et les éléments, N, P, K, Ca, Mg et Mn ont été dosés sur l'ensemble des 96 échantillons.

En ce qui concerne l'azote, exprimé en N % de substance sèche, les teneurs sont régulièrement plus élevées chez les feuilles paniculaires. La valeur moyenne est de 3,74 %, alors qu'elle est de 2,82 % pour les deuxièmes et troisièmes feuilles.

Il en est de même pour le phosphore qui accuse une teneur moyenne de 0,22 % pour les premières feuilles et de 0,15 % pour les autres.

D'autre part les amplitudes de variation de ces éléments, N et P, sont en général plus accusées chez les deuxièmes et troisièmes feuilles que dans la feuille paniculaire.

Pour le potassium, les différences sont beaucoup moins nettes, la valeur moyenne étant de 2,03 % chez les premières feuilles et de 1,94 % chez les deuxièmes et troisièmes feuilles.

Avec les éléments alcalino-terreux, calcium et magnésium, on pouvait s'attendre à une accumulation dans les feuilles plus âgées et c'est en effet ce qui a pu être vérifié. La teneur moyenne, pour les premières feuilles, est respectivement égale à 0,53 % de Ca et 0,21 % de Mg, tandis qu'elle est de 0,72 et 0,28 pour l'ensemble des deuxièmes et troisièmes feuilles.

Quant au manganèse, il a paru également intéressant de le doser, étant donné les fortes teneurs qui se rencontrent très souvent dans certains sols tropicaux. Pour cet élément, qu'il est difficile dans le cas présent de classer parmi les oligo-éléments, la teneur moyenne est de 0,14 % dans les feuilles paniculaires, tandis qu'elle atteint 0,21 % chez les feuilles plus âgées.

En conséquence, pour les cinq éléments majeurs, on voit que les constatations établies par M. Maume pour le riz en culture irriguée ne se confirment pas lorsque les conditions culturales et écologiques ne sont plus les mêmes.

En effet, pour le riz de Camargue, ce sont les deuxièmes et troisièmes feuilles qui se révèlent les plus riches en azote, en potassium, en calcium et en magnésium, tandis que les premières feuilles sont plus riches en phosphore. Pour le riz de culture sèche de l'A. E. F., les deuxièmes et troisièmes feuilles sont plus riches en calcium et en magnésium, tandis que les feuilles paniculaires sont plus riches en azote, en phosphore et en potassium. Ces constatations peuvent se résumer sur le tableau suivant :

	Azote	Phosphore	Potassium	Calcium	Magnésium
	Gamargue	Gamargue	Gamargue	Gamargue	Gamargue
Feuille paniculaire	+	+	+	+	+
2 ^e et 3 ^e feuilles.....	+	+	+	+	+

+ = niveau des feuilles dans lesquelles l'élément considéré est en plus grande quantité.

En conclusion il semble, sous réserve de plus amples études, que l'on ait avantage en culture irriguée à faire porter les analyses pour le diagnostic foliaire sur les deuxièmes et troisièmes feuilles. En ce qui concerne les riz de culture sèche, cet avantage est moins net, les hautes teneurs de la feuille paniculaire en N, P, et K correspondant à des amplitudes de variation de ces éléments plus fortes dans les deuxièmes et troisièmes feuilles.

BIBLIOGRAPHIE

1. L. MAUME. — Premières observations sur le contrôle biochimique de la nutrition du riz par la méthode du diagnostic foliaire. Journées du Riz, Arles-sur-Rhône, 12-13 décembre 1952, p. 52-55.
2. L. MAUME et J. DULAC. — Contrôle de la nutrition du riz par le diagnostic foliaire. Journées du Riz, Arles-sur-Rhône, 1-2-3 juillet 1954, p. 93-110.
3. P. ROCHE, J. VELLY et B. JOLIET. — Fertilisation du riz sur deux types de sols de la région du Lac Alaotra. C. R. Rech. Agron. Madagascar, 1953, n° 2, p. 55.

La relation « azote-rendement » chez les céréales

par Jacques DULAC

Ecole nationale d'Agriculture de Montpellier, France

L'application du diagnostic foliaire aux céréales a permis de mettre en évidence quelques caractères particuliers de la physiologie de leur alimentation qui présentent un intérêt agronomique.

I. — CAS DU BLÉ

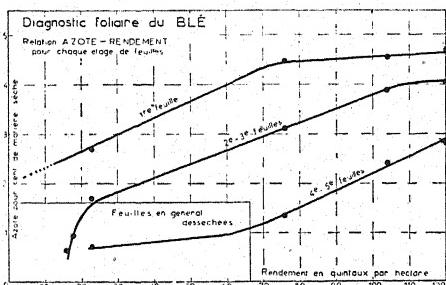
Pour le blé l'observation fondamentale peut être formulée de la manière suivante :

Quand aucune cause autre que l'alimentation azotée ne vient modifier la composition des feuilles et la récolte, il existe chez le blé (Etoile de Choisy) une relation linéaire entre le *rendement* en grain et la *teneur en azote* de la matière sèche de chaque étage de feuille au moment de la floraison.

A bien y regarder, cette loi biologique n'a rien de surprenant ; elle est justifiée par ce que l'on sait depuis longtemps du rôle essentiel de cet élément (plastique par excellence) dans la formation de tous les tissus vivants, surtout végétaux et de l'efficacité des fertilisants azotés à l'égard des céréales.

L'examen du graphique permet précisément d'y retrouver certaines observations d'ordre pratique : on voit en effet que cette relation se manifeste tour à tour pour

chaque étage de feuilles avec un chevauchement plus ou moins large à mesure que la production s'élève ; ainsi est mis en évidence le fait que l'augmentation de rendement résulte de la double intervention d'un taux d'azote plus élevé et d'un plus grand nombre de feuilles en état de fonctionner : l'amélioration de la nutrition azotée procure donc à la plante un double bénéfice : gain d'intensité de la photosynthèse et gain de surface.



GRAPHIQUE N° 1

En outre le graphique justifie le choix d'une feuille de rang déterminé pour contrôler un rendement donné :

- a) jusqu'à 24 qx environ, seule la première feuille est liée au rendement par sa teneur,
- b) de 24 à 106 qx environ les deux étages suivants doivent être utilisés et ce sont précisément ceux qui ont été choisis pour le diagnostic foliaire,
- c) enfin pour des rendements exceptionnels, au delà de 100 qx, la relation n'apparaît plus que pour les feuilles de 4^e et 5^e rang.

Nous nous bornerons à discuter la 2^e courbe qui correspond aux productions courantes.

Une étendue de rendement variant de 24 à 106 qx/ha environ est linéairement contrôlée par un écart de teneurs des feuilles s'étalant de 1,7 à 4,0 % de matière sèche, soit une pente correspondant à 35,6 qx de grain par unité d'azote. Sans accorder à cette constatation plus d'importance qu'elle ne mérite, disons que la sensibilité de la méthode peut être approximativement chiffrée et qu'elle se révèle très satisfaisante.

Il peut paraître ambitieux d'avancer que l'on arrive à inscrire dans le cadre rigide d'une formule mathématique des phénomènes biologiques aussi complexes et en apparence aussi fluctuants, que la production d'un végétal et son alimentation. Aussi est-il bien évident que cette relation ne s'applique qu'au cas limite d'une culture homogène, végétant dans des conditions sensiblement « idéales », dans lesquelles aucun facteur autre que l'alimentation azotée n'est intervenu pour modifier la composition des feuilles ou le rendement. Cette condition suppose donc que les besoins phospho-potassiques sont suffisamment couverts, que l'humidité est convenable (sans excès, ni défaut), que la culture n'a subi aucun accident végétatif : échaudage, rouille, verse, etc...

Par conséquent cette condition (qui est loin d'être exceptionnelle) a, comme corollaire, l'avantage de signaler par l'apparition de cas aberrants, les perturbations de nutrition ou de rendement d'une culture et de permettre éventuellement d'en connaître la cause. La loi biologique trouve ainsi une application agronomique qui est précisément le but de cette étude.

En reliant la teneur en azote de la feuille au rendement, il devient possible de porter un jugement qualifié sur l'alimentation azotée de la plante, car on échappe dans une certaine mesure, comme on le verra, aux difficultés d'une interprétation basée sur la seule considération du résultat analytique d'un échantillon.

L'expérience nous a prouvé que la courbe représente le lieu des points pour lesquels la teneur en azote des feuilles est *normale* pour le rendement considéré et pour certaines conditions de culture (variété, densité, etc...). La position d'un point sur le graphique permet donc de distinguer les alimentations *normales*, quand il se trouve sur la courbe, des alimentations *anormales par excès*, quand il se place au-dessus, ou *par défaut*, quand il se

place au-dessous. Ainsi une teneur de 2,4 % par exemple signale une nutrition déséquilibrée par excès pour un rendement inférieur à 50 qx et déséquilibrée par défaut pour un rendement supérieur. Il en est de même de deux teneurs différentes (2 et 3 %) pour un même rendement.

On pourrait encore aller plus loin et considérer que cette 2^e courbe délimite deux zones :

— l'une située au-dessus et se rapportant au *sol*, dont les possibilités nutritives en azote ont été mal utilisées par la plante, puisqu'elle n'a pas atteint le rendement que permettait la quantité d'azote assimilée.

— l'autre située au-dessous et se rapportant à la *plante*, dont les possibilités de production *par individu* ont été incomplètement exploitées, puisqu'elle n'a pas atteint la teneur normale pour le rendement obtenu (Précisons immédiatement que c'est souvent le cas des densités excessives pour la quantité d'azote disponible).

On va voir maintenant que le raisonnement prévoit et que l'expérience vérifie, l'incidence de certains facteurs cultureaux sur la relation « azote-rendement ».

1^o La densité d'épis.

Il est bien évident qu'une même quantité d'azote offerte à une culture de blé pourra se révéler excessive pour une densité faible et insuffisante pour une densité élevée. On l'a bien vu ce printemps dans certains champs dont le peuplement avait été fortement réduit par les froids.

Dans le cas d'une faible densité le point représentatif est amené à se placer au-dessus de la courbe pour deux raisons : d'abord parce que la quantité d'azote impartie à chaque plante pour une fertilité donnée, est — comme nous venons de le dire — d'autant plus importante que le volume de sol exploité par chacune est plus grand, c'est-à-dire que la densité est plus faible, ce qui tend à déplacer le point verticalement ; ensuite parce que le rendement tend à diminuer en même temps que la densité, ce qui déporte le point horizontalement vers la gauche.

Pour des raisons inverses, une densité trop élevée pour la fertilité du champ tend à placer le point au-dessous de la courbe. En effet malgré une réduction de la teneur en azote des feuilles et du poids de grain par épis, le rendement se maintient à une valeur relativement élevée par suite de l'importance du peuplement.

Ainsi pour un même rendement, il existe une fluctuation notable de la teneur en azote des feuilles qui dépend, toutes choses égales d'ailleurs, de la densité des épis et il devient possible, dans ces cas, d'expliquer pourquoi des rendements identiques correspondent à des teneurs différentes.

Ces considérations amènent à penser que, puisque la production par individu est liée à la richesse des feuilles, on devrait, en toute logique, trouver des coordonnées de valeurs différentes pour les diverses densités. C'est bien le cas, semble-t-il, pour le Maïs. Mais le problème des relations de l'alimentation azotée et de la densité revêt chez le blé un aspect particu-

lier : celui-ci possède en effet la faculté de *taller*, c'est-à-dire d'adapter sa masse végétale à la capacité nutritive du sol à ce moment-là ; il en résulte une sorte de correction automatique, qui atténue plus ou moins les écarts d'alimentation azotée.

Effectivement nous avons constaté, en 1955, dans le champ d'expériences du C. E. T. A. du Mantais à La Queue-lez-Yvelines, que l'augmentation progressive de la densité depuis 281 épis/mètre carré jusqu'à 437 amenait bien une baisse très régulière de la teneur en azote des feuilles, mais cette chute était faible, de 2,89 à 2,70 : soit un écart de 0,19 pour une variation de densité de 100 à 155. Si on considère que seul le dernier point se place sur la courbe, on est amené à penser que les conditions de sol, de fumure et de climat convenaient à une densité de 400 à 500 épis mètre carré.

On verra, plus loin, que l'écart des teneurs est plus élevé chez le maïs pour une différence de densité analogue.

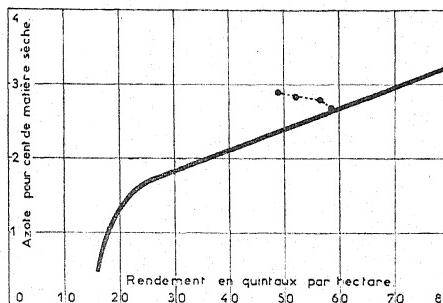
2^o Les variations du niveau de l'alimentation azotée au cours de la végétation.

Il est bien certain que, dans les conditions naturelles, le niveau de l'alimentation azotée est loin de se maintenir toujours à sa valeur initiale pendant tout le cours de la végétation du blé. Or, les recherches de ces dernières années sur l'influence du fractionnement de la fumure azotée ont montré qu'il n'est pas indifférent pour la plante de voir ce niveau se maintenir, s'élever ou s'abaisser, car il peut apparaître, dans ces deux derniers cas, une *exagération* ou un *affaissement* d'une phase essentielle du développement ; il en résulte alors soit une avidité accrue qu'il convient de satisfaire, soit des possibilités perdues qui ne se retrouvent plus.

A l'égard de la composition de la plante, ces observations permettent de rattacher le rythme de l'alimentation à l'un des trois cas suivants :

1 — Quand l'azote est fourni à peu près régulièrement au cours de la végétation, la richesse des tissus en azote dépend, toutes choses égales d'ailleurs, de la quantité totale d'azote assimilée (alimentation d'intensité constante).

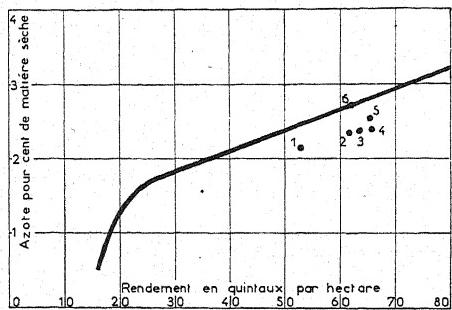
2 — Si l'azote est fourni en quantité relativement plus importante au début qu'à la fin, c'est-à-dire en majorité au moment de la pointe de croissance, le développement s'exagère momentanément et l'azote tend à se



GRAPHIQUE N° 2. — Influence de la variation de la densité sur la relation « azote-renement » chez le blé à Queue-lez-Yvelines en 1955. De gauche à droite : 281-347-386-437 épis par mètre carré (4 répétitions).

diluer dans la plante en fin de végétation ; le taux est alors *inférieur* au précédent (alimentation d'intensité décroissante).

3 — Quand, au contraire, l'azote est fourni en quantité relativement moins importante au début qu'à la fin, c'est-à-dire en majorité au moment où la vitesse de croissance s'atténue, l'azote toujours absorbé par les racines, et ne pouvant qu'incomplètement se diluer dans de nouveaux tissus, élève la richesse de ceux qui sont déjà formés (alimentation d'intensité croissante).



GRAPHIQUE N° 3. — Influence de diverses fumures azotées sur la relation « azote-rendement » chez le blé. Station d'Amélioration des plantes de l'Ecole Nationale d'Agriculture de Rennes (Professeur Cotte). 1955.

- Parcelle ... 1 : 40 kg d'azote au tallage,
 2 : comme 1 + 31 kg d'azote début montée,
 3 : comme 2 + 23,5 kg d'azote à l'épiaison,
 4 : 20 kg d'azote au semis + les épandages de 3,
 5 : 40 kg d'azote au tallage + 54,5 kg début montée,
 6 : 20 kg d'azote au tallage + 54,5 kg en cours de montée.

une légère fumure précoce, ou au contraire une tardive.

Connaissant l'importance que présente pour la formation du grain, une alimentation, sinon croissante, en tout cas soutenue, il n'est pas sans intérêt de vérifier par une diagnose adéquate si ce but a été atteint.

Comme on vient de le voir, l'analyse permet de distinguer les applications précoces des applications tardives, ou plus exactement d'appréhender la cinématique de l'alimentation, à condition toutefois de disposer d'un élément de comparaison ; or, en l'absence d'un témoin définissant le niveau d'alimentation régulière, on peut trouver dans la relation « azote-rendement » la référence indispensable, puisqu'elle définit le taux d'azote « normal » des feuilles à la floraison pour un rendement et pour une variété données.

Ces considérations ont été vérifiées à l'Ecole Nationale d'Agriculture de Rennes dans le champ d'essai de fertilisation azotée tardive organisé

Ces faits, maintenant bien établis, ont été constatés par plusieurs auteurs, à divers stades de la végétation et dans différents tissus ou organes. Dès lors, il n'est pas surprenant que le diagnostic foliaire non seulement rencontre les mêmes observations, mais encore y trouve un appui opportun.

Ces recherches doivent retenir notre attention, car elles mettent en évidence une notion très importante qui avait échappé jusqu'à ces dernières années : la teneur des tissus dépend non seulement de la quantité totale d'azote assimilé, mais encore — à quantité égale — de la date d'application de la fumure ; c'est ainsi que dans certaines conditions on observe un notable abaissement de la teneur avec une élévation avec une fumure

par le Professeur Cotte (1). Il a été constaté, en 1954 et en 1955, un taux d'azote nettement inférieur à la normale dans la majorité des parcelles malgré un rendement de 50 à 65 qx et une densité voisine de 400 — 470 épis par mètre carré. Ce déficit se présente comme une caractéristique locale et peut s'expliquer de la manière suivante : dans ce terrain les conditions de végétation sont particulièrement favorables au premier développement du blé dont les besoins en azote deviennent dès lors plus élevés. En 1955, ils n'ont pu être satisfaits que dans la parcelle n° 6 qui a bénéficié à la fois d'une très faible fumure (20 kg N) au début du tallage pour ne pas exagérer encore la première croissance et d'une très forte fumure tardive (54,5 kg N) à la fin de la montée pour maintenir le rythme de l'alimentation à sa valeur primitive qui était particulièrement élevée.

Dans ces conditions, la teneur en azote des feuilles à la floraison s'est élevée ; elle est devenue *normale* et le point s'est placé sur la courbe ; d'où ce résultat en apparence paradoxal : malgré une fumure totale plus faible que dans les parcelles n° 3-4-5, la parcelle n° 6 a donné, par le simple jeu d'un heureux fractionnement, la teneur en azote des feuilles et le poids de grain par épi les plus élevés de ces 4 parcelles.

Par contre la parcelle n° 1 qui a reçu toute la fumure (40 kg N) au tallage présente la teneur en azote la plus faible.

3^e Carences.

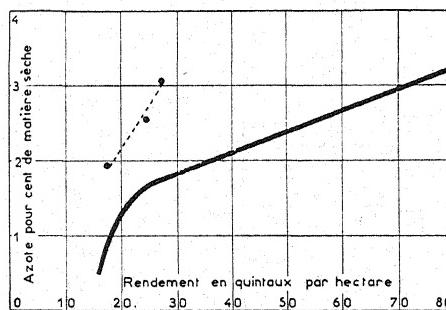
Une carence prononcée en un élément peut entraîner une perturbation de la relation.

Pour l'instant nous n'avons pas d'exemple à donner ; rappelons seulement que Burgevin et Guyon ont signalé l'enrichissement relatif en azote des tissus de blé végétant dans un sol carencé en acide phosphorique ou en potasse.

4^e Accidents de végétation.

Tout accident de végétation : échaudage, égrenage, verse, parasites divers, etc... susceptible de réduire le rendement, modifie la relation en éloignant le point de la droite de référence.

Nous avons eu la chance de rencontrer dans l'Oise en 1955, un cas particulièrement net d'*échaudage* ; le graphique



GRAPHIQUE N° 4. — Influence de l'échaudage sur la relation « azote-rendement » chez le blé dans l'Oise en 1955. Fumure (de bas en haut) : 40-70-93 kg d'azote.

(1) Nous remercions vivement le Professeur COTTE d'avoir bien voulu nous autoriser à publier ces résultats.

fait clairement apparaître la valeur anormale des rendements pour les quantités d'azote assimilées et l'aggravation de l'accident avec l'importance de la fumure azotée.

Dans ce cas, une interprétation basée sur le seul examen du résultat analytique aurait conduit à une bavure.

5^o Enfin, diverses causes systématiques peuvent amener à envisager l'existence d'une famille de courbes :

— le *facteur variétal* : Etoile de Choisy et Capelle Desprez paraissent obéir à la même relation, bien qu'avec des plafonds de rendement différents. Il n'en est pas de même des *blés durs*, qui présentent, pour des rendements identiques, des teneurs en azote nettement plus élevées.

— De même la recherche d'un grain plus riche en gluten conduit à envisager une courbe à ordonnées plus élevées.

En définitive on voit, par ces quelques exemples provenant de champs d'expériences particulièrement bien conduits, que la loi biologique qui lie la richesse des feuilles au rendement fournit chez le blé une base utile pour l'interprétation des résultats analytiques.

II. — MAIS

La même relation s'applique encore au Maïs, toutefois avec les restrictions suivantes : maïs hybride (1.4417), densité : 45.000 pieds/ha et dans les conditions d'échantillonnage que voici :

On prélève la feuille à l'aisselle de laquelle apparaît l'épi principal sur 20 plantes environ aux quatre époques physiologiques suivantes :

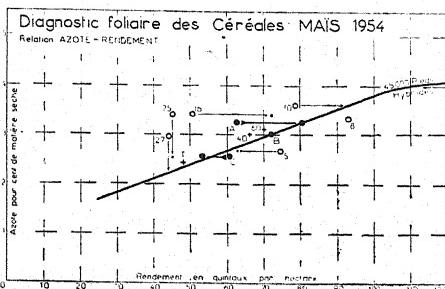
- début floraison mâle,
- début de dessiccation des soies,
- 15 jours plus tard,
- début de jaunissement des spathes.

On analyse le tiers central des feuilles et on prend la moyenne, non pondérée, des 4 prélèvements.

L'étude a porté sur des champs dont la densité a varié de 31.000 à 53.000 pieds/hectare et les rendements de 48 à 93 qx/ha. Ces champs étaient situés dans les Basses-Pyrénées et dans les Landes et comportaient 40 parcelles de maïs hybrides et 2 de population de pays.

Pour mettre en évidence l'influence de la densité, on a calculé les moyennes des *taux d'azote*, du *rendement hectare*, du *rendement par pied* et de la *densité* dans 3 catégories de champs : les moins peuplés, ceux dont la densité était voisine de 45.000 et les plus peuplés.

Densité	Azote	Rendement hectare	Rendement par pied	Rendement hectare ramené à 45.000 pieds.
35.200	3,25	62,7 qx	178 gr	80 qx
44.900	3,00	72,0	160	72
51.100	2,55	60,6	119	53,5



GRAPHIQUE N° 5. — Influence de la variété, de la densité et de la fumure azotée sur la relation « azote-rendement » chez le maïs dans les Basses-Pyrénées et dans les Landes en 1954.

Points A : densité moyenne ... 35.200 pieds-hectare... I.4417

B : 44.900..... I.4417

C : 51.100..... I.4417

Cercles n° 5 densité 53.200..... I.4417

n° 8 densité 45.100..... I.4417

n° 10 densité 33.400..... I.4417

n° 16 densité 31.500..... I.4417

n° 25 densité 43.600..... Doré de Gomer

n° 26 densité 43.300..... Roux basque

Croix : T témoin sans azote.

40 : et 60 kg d'azote I.4417 densité 40.800.

En portant ces résultats sur la courbe déjà trouvée pour les 2^e et 3^e feuilles du blé, on peut faire les observations suivantes :

1^o Influence de la densité (points A, B, C).

La position respective des trois points montre que la teneur en azote des densités B voisines de 45.000 pieds est normale, tandis que celle des densités faibles A est excédentaire et celle des densités élevées C est déficitaire.

En outre, la position des points A et C par rapport à la courbe est telle qu'une simple translation horizontale vers la droite pour le premier et vers la gauche pour le second, de façon à les ramener au rendement pour 45.000 pieds, suffit à les placer sur la courbe. Toutefois, il est essentiel de remarquer que cette translation du point vers une densité différente de la densité réelle par un simple calcul de proportionnalité soulève une double objection : d'une part le rendement n'est pas exactement proportionnel au peuplement et d'autre part le taux d'azote varie en sens inverse de la densité ; un calcul plus exact demanderait donc une double correction, mais de toutes façons le point convergerait encore vers la courbe. Ces réserves faites, nous

conserverons cette translation horizontale parce qu'elle est pratique et pas plus conventionnelle que ne le seraient les coefficients de correction qu'il faudrait adopter.

En définitive, le maïs réagit à une variation de densité par une variation de teneur en azote avec une sensibilité beaucoup plus grande que le blé par suite de l'absence de tallage : pour un écart de peuplement de 100 à 147, l'écart des teneurs atteint 0,70, alors qu'il était de 0,19 pour le blé.

L'interprétation agronomique en découle immédiatement : dans les champs observés les conditions de sol, de fumure et de climat permettaient d'utiliser une densité plus élevée pour les faibles peuplements ; pour les autres le déficit de teneur est dû à une fumure manifestement insuffisante pour alimenter toute la population.

Dès lors, il devient aisément de porter un jugement sur l'alimentation des champs individuels représentés par des cercles évidés sur le graphique : l'exploitation des possibilités nutritives du sol a été incomplète dans le champ n° 10 (33.400 pieds), encore plus incomplète dans le champ n° 16 (31.500 pieds) ; par contre le champ n° 5 montre un cas inverse, l'azote de la fumure et du sol n'a pas permis une alimentation convenable des 53.002 pieds. Enfin dans le champ n° 8 (45.100 pieds) la situation est à peu près correcte malgré une production très élevée de 93 qx.

2^o Influence du patrimoine héréditaire.

La considération des champs n° 25 et 27 va montrer que la courbe ne s'applique pas aux populations de pays. Ces deux variétés, Doré de Gomer (43.600 pieds) et Roux Basque (43.300 pieds) ont des teneurs en azote anormalement élevées, que ne justifie pas l'écart de leur densité avec le peuplement de référence. Par contre une observation de Carles et Soubiés en fournit la raison et même les éléments de correction : « les maïs hybrides économisent 22 à 28 % d'azote dans leurs tissus ». Si, pour rendre leur composition comparable à celle des hybrides, on leur applique une correction moyenne de 25 %, on ramène l'un (sans engrais) exactement sur la courbe et l'autre (fumé) légèrement au-dessus.

Remarquons encore une fois que le simple fait de confronter la teneur en azote des feuilles et le rendement permet de distinguer dans le cas actuel les deux variétés de pays du maïs hybride 1.4417, alors que la comparaison des seuls résultats analytiques serait muette sous ce point de vue.

3^o Influence de la fumure azotée.

Il convient enfin de faire subir à la relation « azote-rendement » une autre épreuve en cherchant sa réponse à une fumure azotée croissante.

Le Champ permanent d'essai de fumures de la Station d'Amélioration du Maïs (1) à St-Martin-de-Hinx dans les Landes comporte 8 parcelles de

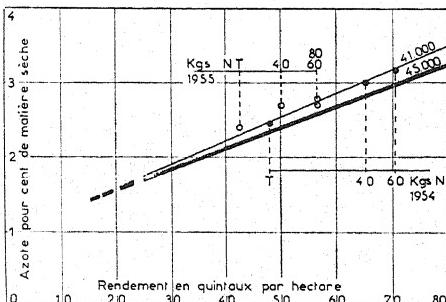
(1) Nous remercions vivement le Professeur ALABOUVETTE d'avoir bien voulu nous autoriser à publier ces résultats.

I.4417 (40.800 pieds) différemment fumées en azote, acide phosphorique et potasse, qui ont été échantillonnées et analysées séparément ; les résultats ont été groupés en 3 catégories d'après la quantité d'azote qui leur a été appliquée : O (T) — 40 — 60 kg/ha.

Les résultats de 1954 et 1955, dont les rendements s'échelonnent de 42 à 70 qx, permettent de placer 6 points sur le graphique.

On trouve ici encore une remarquable application de la loi qui intègre en même temps le rendement, la teneur en azote de la feuille de l'épi, la densité et l'efficacité de la fumure azotée, car si on analyse la fidélité de la relation, on observe que les points se placent tous sur la courbe calculée pour 41.000 pieds, que le rendement est proportionnel à la teneur des feuilles et que cette teneur est à son tour proportionnelle à la quantité d'azote apportée, toutes choses égales d'ailleurs.

La recherche des causes qui expliquent la différence de rendement obtenus en 1954 et en 1955 avec la même fumure constitue un autre problème ; il a été également résolu par le diagnostic foliaire.



GRAPHIQUE N° 6. — Influence d'une fumure azotée croissante sur la relation « azote-renement » chez le maïs I.4417 à la Station d'Amélioration du maïs de Saint Martin de Hinx (Landes).

densité : 40.800.
Pluviométrie anormalement faible en 1955.

REMARQUES

I. — S'il n'a pas été question jusqu'à présent de deux éléments importants, l'acide phosphorique et la potasse, et de leur incidence sur l'alimentation azotée, c'est que dans tous les champs qui ont été examinés les besoins avaient été largement couverts par une fumure de fond.

Chez le maïs les teneurs moyennes s'établissent autour de 0.70 % pour P_2O_5 , et 2.20 pour K_2O .

II. — Nous ne discuterons pas les valeurs des coordonnées de la courbe qui restent encore provisoires.

III. — La même relation paraît s'appliquer également au Riz, mais notre documentation est encore incomplète.

CONCLUSIONS

Pour ne pas alourdir cet exposé, nous n'avons utilisé qu'une partie des résultats sur lesquels repose cette étude ; nous pensons néanmoins que ces observations suffisent pour montrer un aspect des relations qui existent

entre l'alimentation azotée des céréales et leur rendement en grain. La loi, qui en est l'expression, est susceptible de faciliter l'interprétation des résultats du diagnostic foliaire. Des travaux ultérieurs en préciseront les modalités et les limites d'application.

Pour l'instant nous estimons qu'elle permet de porter un jugement sur l'adaptation mutuelle de la densité, de l'importance de la fumure azotée et de sa meilleure répartition au cours de la végétation pour un climat et un type de sol donnés.

Toutefois il est indispensable d'insister sur l'importance des soins à apporter à l'expérimentation, aux déterminations de rendement et de densité et à l'échantillonnage. Toutes ces opérations réclament les mêmes servitudes qu'une expertise.

Ajoutons pour terminer que des recherches en cours nous permettent de penser que la relation « azote-rendement » n'est qu'un cas particulier d'une loi beaucoup plus générale qui lie le développement du végétal lui-même ou d'un organe particulier à la teneur en azote des feuilles.

3472. — Imprimerie JOUVE, 15, rue Racine, Paris. — 5-1957
Dépôt légal : 2^e trimestre 1957